

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-230485

(43)Date of publication of application : 02.09.1998

(51)Int.Cl. B25J 5/00

B25J 13/08

G05D 1/08

(21)Application number : 09-364412 (71)Applicant : HONDA MOTOR CO
LTD

(22)Date of filing : 19.12.1997 (72)Inventor : TAKENAKA TORU
HASEGAWA TADA AKI
MATSUMOTO TAKASHI

(30)Priority

Priority number : 08354561 Priority date : 19.12.1996 Priority country : JP

(54) POSTURE CONTROL DEVICE FOR LEG TYPE MOBILE ROBOT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To take dynamic balance so as to continue a stable posture even if a leg type mobile robot receives unexpected reaction force of an article by providing a joint displacing means for displacing the joints of the robot based on a calculated basic target track correction amount and a floor reaction force target track correction amount.

SOLUTION: If an actual upper body position/posture and its changing rate detected by an oblique sensor 60 are coincident with a correction target upper

body position/posture and its changing rate, a target flat sole position/posture is corrected so that the moment component of an actual total floor reaction force applied to a target total floor reaction force center position is to coincide with the resultant force moment component of a target total floor reacting force and compensating total floor reaction force for an article reaction force parallel control. Further, a leg main control device controls leg joint actuators 10R (L) and 12R (L) so that an actual joint displacement follow up a target leg joint displacement decided based on the correction target upper body position/posture and the correction target flat sole position/posture.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 02.06.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3672426

[Date of registration] 28.04.2005

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] In the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which consists of a link of two or more connected with a base and said base at least a. Said robot's movement pattern which contains the target locus of said base at least, The target locus of floor reaction force which acts on said robot, and the target locus of external force other than the floor reaction force which acts on said robot are included at least. A target gait setting means to set up said robot's target gait, an external force detection means to detect external force other than the b. aforementioned floor reaction force, and the external force by which the c. aforementioned detection was carried out, An external force deflection operation means to calculate the deflection of external force other than the floor reaction force set up by said target locus, d. The model expressing the relation of the perturbation of the center-of-gravity location of the perturbation of said floor reaction force, and said robot, and/or the location of a base, e. An amount operation means of model inputs to calculate the amount of model inputs which should be inputted into said model based on the deflection of said calculated external force at least, f. Input said calculated amount of model inputs into said model, and correct the target locus of said base according to the perturbation quantity of said center-of-gravity location obtained and/or a base. the amount operation means of base target locus corrections and g. which calculate the amount of base target locus corrections -- according to said calculated amount of model inputs, the target locus of said floor reaction force is corrected at least -- an amount operation means of floor-reaction-force target locus corrections to calculate the amount of floor-reaction-force target locus corrections, and h. -- the joint, to which the variation rate of said robot's joint is carried out based on said amount of base target locus corrections and amount of floor-reaction-force target locus corrections which were calculated at least -- a variation rate -- a means -- Attitude control equipment of the leg formula mobile robot characterized by preparation *****.

[Claim 2] Said amount operation means of model inputs is attitude-control equipment of the leg formula mobile robot given in claim 1 term characterized by to calculate said amount of model inputs so that it may have a balanced

center-of-gravity location perturbation-quantity calculation means compute the perturbation quantity of the balanced center-of-gravity location which balances the j. aforementioned external force statically and said model may converge on said computed balanced center-of-gravity location.

[Claim 3] Claim 1 term characterized by being the model to which said model approximates said robot with a handstand pendulum, or attitude control equipment of a leg formula mobile robot given in dyadic.

[Claim 4] Said balanced center-of-gravity location perturbation quantity calculation means is attitude control equipment of claim 2 term characterized by having the limiter which restricts the perturbation quantity of the balanced center-of-gravity location by which the k. aforementioned calculation was carried out to the predetermined range, or a leg formula mobile robot given in 3 terms.

[Claim 5] Said amount operation means of floor-reaction-force target locus corrections is attitude control equipment of a leg formula mobile robot given in either claim 1 term characterized by having the limiter which restricts the amount of floor-reaction-force target locus corrections by which the l. aforementioned operation was carried out to the predetermined range thru/or the 4th term.

[Claim 6] The target locus of said floor reaction force is attitude control equipment of claim 1 term characterized by including at least the locus of the target central point of floor reaction force which acts on said robot thru/or a leg formula mobile robot given in 5 terms.

[Claim 7] Said amount operation means of floor-reaction-force target locus corrections is attitude control equipment of the leg formula mobile robot given in claim 6 term characterized by calculating said amount of floor-reaction-force target locus corrections so that said amount of floor-reaction-force target locus corrections may balance with the value which subtracted the deflection of said external force from said amount of model inputs, and the moment which acts on the circumference of the target central point of said floor reaction force dynamically.

[Claim 8] Attitude control equipment of a leg formula mobile robot given in either claim 1 term characterized by external force other than said floor

reaction force being the reaction force from the activity object which acts on said robot through said link thru/or the 7th term.

[Claim 9] Attitude control equipment of a leg formula mobile robot given in either claim 1 term characterized by being the leg formula mobile robot with which said robot consists of a two feet link connected with said base, and a two arms link thru/or the 7th term.

[Claim 10] In the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which consists of a link of two or more connected with a base and said base at least a. Said robot's movement pattern which includes the target position of said base at least, The locus of the target central point of floor reaction force which acts on said robot is included at least. Act on said robot through the target gait setting means and the b. aforementioned link which set up said robot's target gait. An object reaction force detection means to detect the reaction force from an activity object, an object reaction force moment conversion means to change the object reaction force by which the c. aforementioned detection was carried out as the moment of the circumference of said target floor-reaction-force central point, d. So that it may balance with said changed object reaction force moment dynamically The robot location and a posture correction means to correct location and posture of the floor-reaction-force moment of the circumference of said target central point, and said robot, and e. -- the joint which carries out the variation rate of said robot's joint to the floor-reaction-force moment of the circumference of said corrected target central point based on said robot's location and posture -- a variation rate -- the attitude control equipment of the leg formula mobile robot characterized by having a means.

[Claim 11] In the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which consists of a link of two or more connected with a base and said base at least a. A target gait setting means to set up said robot's movement pattern which includes the target position of said base at least, b. An object reaction force detection means act on said robot through said link to detect the reaction force from an activity object, c. So that it may hang at an object reaction force moment conversion means to change said detected object reaction force as the moment of the circumference of a predetermined point,

and the object reaction force moment by which the d. aforementioned conversion was carried out dynamically and it may be suited The robot location and a posture correction means to correct location and posture of the floor-reaction-force moment of the circumference of said predetermined point, and said robot, and e. -- the joint which carries out the variation rate of said robot's joint to the floor-reaction-force moment of the circumference of said corrected predetermined point based on said robot's location and posture -- a variation rate -- the attitude control equipment of the leg formula mobile robot characterized by having a means.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] Even if this invention receives in more detail a leg formula mobile robot and the object reaction force which is not especially expected in the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk about a leg formula mobile robot's attitude control equipment, its application as **** cooperative control of the leg formula migration robot arm equipped especially with an arm about the thing which maintains dynamic balance and enabled it to maintain the stability of a posture, and a foot is effective.

[0002] In addition, "object reaction force" is the external force received from the environment containing the candidate for an activity on these specifications, and the thing except the floor reaction force which acts on a robot from a ground plane is used in the semantics which carries out a designation.

[0003]

[Description of the Prior Art] As a leg formula mobile robot and a thing especially equipped with the arm with the leg formula mobile robot of a 2-pair-of-shoes walk, "development of the 2-pair-of-shoes bipedal robot which

compensates 3 shaft moment by upper-part-of-the-body movement" (Robotics Society of Japan 11 No. 4, May, 1993) is known. This robot has a pendulum as a simplified arm, designs beforehand target gaits also including the gravity and inertial force which are generated by shaking this, and he does walk control so that it may be followed.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, in this conventional technique, it is the requisite that an arm does not receive object reaction force. Therefore, when the control proposed there was applied not only to a walk but to an activity, when the reaction which is not expected for an activity was received, ** balance was lost, the posture became unstable, and when the worst, there was a possibility of falling.

[0005] Moreover, an arm is made to shake and these people are also made to recover a stable posture, when the leg formula mobile robot of the same kind is proposed and frictional force declines in there at the time of a walk by JP,7-205069,A.

[0006] However, in the leg formula mobile robot which these people proposed, since it was separately controlled independently, without a foot and an arm cooperating, when the arm was driven, the whole robot ** balance collapsed according to the gravity which an arm generates, inertial force, and the reaction from the candidate for an activity, and there was a case where a robot posture became unstable on the contrary.

[0007] Therefore, it is in the purpose of this invention offering the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which is to cancel above-mentioned un-arranging, maintains ** balance even if it receives the object reaction force which a leg formula mobile robot cannot expect, and enabled it to continue a stable posture.

[0008] The 2nd purpose of this invention is by moving a robot's center of gravity to the location which balances statically to it to offer the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which controlled the inclination and the fall effectively, also when object reaction force changes suddenly.

[0009] The 3rd purpose of this invention is also in the transition stage which a robot's center of gravity moves to offer the attitude control equipment of the

leg formula mobile robot which changes a center-of-gravity location and floor reaction force proper, and continued having ** balance maintained, when the above-mentioned object reaction force is received.

[0010] When working by moving an arm by the leg formula mobile robot by the pattern of operation which had not been beforehand assumed in the thing equipped with an arm, even if the 4th purpose of this invention receives the reaction which is not expected gravity and not only inertial force but for [which is generated on an arm] an activity, it is to offer the attitude-control equipment of the leg formula mobile robot which maintains ** balance and enabled it to continue a stable posture.

[0011]

[Means for Solving the Problem] If it is in claim 1 term in order to attain the above-mentioned purpose In the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which consists of a link of two or more connected with a base and said base at least Said robot's movement pattern which contains the target locus of said base at least, The target locus of floor reaction force which acts on said robot, and the target locus of external force other than the floor reaction force which acts on said robot are included at least. A target gait setting means to set up said robot's target gait, an external force detection means to detect external force other than said floor reaction force, and said detected external force, An external force deflection operation means to calculate the deflection of external force other than the floor reaction force set up by said target locus, The model expressing the relation of the perturbation of the center-of-gravity location of the perturbation of said floor reaction force, and said robot, and/or the location of a base, An amount operation means of model inputs to calculate the amount of model inputs which should be inputted into said model based on the deflection of said calculated external force at least, Input said calculated amount of model inputs into said model, and correct the target locus of said base according to the perturbation quantity of said center-of-gravity location obtained and/or a base. According to an amount operation means of base target locus corrections to calculate the amount of base target locus corrections, and the amount of model inputs by which the operation was carried out [aforementioned] at least, correct the

target locus of said floor reaction force. an amount operation means of floor-reaction-force target locus corrections to calculate the amount of floor-reaction-force target locus corrections, and the joint, to which the variation rate of said robot's joint is carried out based on said amount of base target locus corrections and amount of floor-reaction-force target locus corrections which were calculated at least -- a variation rate -- it constituted so that it might have a means.

[0012] A "location" is used in semantics including "a location and/or a posture" except for a center-of-gravity location here. In addition, a "posture" means the sense in three-dimension space like the after-mentioned.

[0013] Here, more specifically, it is used with "the target locus of floor reaction force" in the semantics which contains the target locus of the floor-reaction-force central point at least. Moreover, it is as more specifically as "correcting the target locus of said floor reaction force" used in the semantics which corrects the moment of the circumference of the floor-reaction-force central point.

[0014] Here, it is used in the semantics which not only the detection "that detects external force" but presuming using a disturbance observer etc. includes.

[0015] If it was in claim 2 term, said amount operation means of model inputs was equipped with a balanced center-of-gravity location perturbation quantity calculation means to compute the perturbation quantity of the balanced center-of-gravity location which balances said external force statically, and it constituted it so that said model might converge on said computed balanced center-of-gravity location and said amount of model inputs might be calculated.

[0016] If it was in claim 3 term, it constituted so that it might be the model to which said model approximates said robot with a handstand pendulum.

[0017] If it was in claim 4 term, said balanced center-of-gravity location perturbation quantity calculation means was constituted so that it might have the limiter which restricts the perturbation quantity of said computed balanced center-of-gravity location to the predetermined range.

[0018] If it was in claim 5 term, said amount operation means of floor-reaction-force target locus corrections was constituted so that it might have the limiter

which restricts said calculated amount of floor-reaction-force target locus corrections to the predetermined range.

[0019] If it was in claim 6 term, the target locus of said floor reaction force was constituted so that the locus of the target central point of floor reaction force which acts on said robot might be included at least.

[0020] If it was in claim 7 term, said amount of floor-reaction-force target locus corrections constituted said amount operation means of floor-reaction-force target locus corrections so that it might balance with the value which subtracted the deflection of said external force from said amount of model inputs, and the moment which acts on the circumference of the target central point of said floor reaction force dynamically, and said amount of floor-reaction-force target locus corrections might be calculated.

[0021] If it was in claim 8 term, external force other than said floor reaction force constituted so that it might be the reaction force from the activity object which acts on said robot through said link.

[0022] If it was in claim 9 term, it constituted so that it might be the leg formula mobile robot with which said robot consists of a two feet link connected with said base, and a two arms link.

[0023] In the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which consists of a link of two or more connected with a base and said base at least if it is in claim 10 term Said robot's movement pattern which includes the target position of said base at least, The locus of the target central point of floor reaction force which acts on said robot is included at least. Act on said robot through a target gait setting means to set up said robot's target gait, and said link. An object reaction force detection means to detect the reaction force from an activity object, an object reaction force moment conversion means to change said detected object reaction force as the moment of the circumference of said target floor-reaction-force central point, So that it may balance with said changed object reaction force moment dynamically The robot location and a posture correction means to correct location and posture of the floor-reaction-force moment of the circumference of said target central point, and said robot, and the joint which carries out the variation rate of said robot's joint to the floor-reaction-force moment of the circumference of said

corrected target central point based on said robot's location and posture -- a variation rate -- it constituted so that it might have a means.

[0024] In the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which consists of a link of two or more connected with a base and said base at least if it is in claim 11 term A target gait setting means to set up said robot's movement pattern which includes the target position of said base at least, An object reaction force detection means act on said robot through said link to detect the reaction force from an activity object, So that it may hang at an object reaction force moment conversion means to change said detected object reaction force as the moment of the circumference of a predetermined point, and said changed object reaction force moment, dynamically and it may be suited The robot location and a posture correction means to correct location and posture of the floor-reaction-force moment of the circumference of said predetermined point, and said robot, and the joint which carries out the variation rate of said robot's joint to the floor-reaction-force moment of the circumference of said corrected predetermined point based on said robot's location and posture -- a variation rate -- it constituted so that it might have a means.

[0025] Above, a "leg formula mobile robot" contains the leg formula mobile robot which receives object reaction force in addition to an arm. Moreover, if it acts on an activity object about a "arm link" even if it is a foot link, it shall be regarded as an arm link. For example, in the 6-piece robot of an insect mold, in lifting an object using 2 front pieces, suppose that the foot link is regarded as an arm link.

[0026]

[Function] the external force which a leg formula mobile robot cannot expect in claim 1 term -- even if it more specifically receives reaction force from an activity object, ** balance can be maintained and a stable posture can be continued. Furthermore, even if the movement pattern which had not been assumed beforehand receives the reaction which is not expected a link, the gravity generated on an arm when working by more specifically moving an arm, and not only inertial force but for an activity, ** balance can be maintained and a stable posture can be continued.

[0027] Moreover, also when object reaction force changes suddenly, an inclination and a fall can be effectively controlled by moving a robot's center of gravity to the location which balances statically to it. Moreover, a center-of-gravity location and floor reaction force are changed proper, and maintaining ** balance also in the transition stage which a robot's center of gravity moves, can be continued.

[0028] Also in claim 2 term thru/or the 8th term, it has the same operation as claim 1 term, and effectiveness.

[0029] Even if it receives the reaction which is not expected gravity and not only inertial force but for [which is generated on an arm] an activity when working by moving an arm by the pattern of operation which had not been assumed beforehand also in what is equipped with an arm with a leg formula mobile robot in addition to the above-mentioned operation and effectiveness if it is in claim 9 term, ** balance can be maintained and a stable posture can be continued.

[0030] Also in claim 10 term thru/or the 11th term, it has the same operation as claim 1 term, and effectiveness.

[Embodiment of the Invention] Hereafter, the attitude control equipment of the leg formula mobile robot applied to this invention with reference to an accompanying drawing is explained. In addition, as a leg formula mobile robot, a 2-pair-of-shoes bipedal robot is taken for an example.

[0031] Drawing 1 is the schematic diagram, showing the leg formula mobile robot's attitude control equipment on the whole.

[0032] Like illustration, the 2-pair-of-shoes bipedal robot 1 equips the foot link 2 of each right and left with six joints (the electric motor which drives it shows each joint for the facilities of an understanding).

[0033] To the order from a top, six joints are the joints 10R and 10L (right-hand side is set to R and left-hand side is set to L.) for foot winding of the lumbar part. It consists of the same joints 12R and 12L of the roll axes (circumference of a Y-axis) of the lumbar part, the joints 14R and 14L of this pitching axis (circumference of the X-axis), joints 16R and 16L of the roll axes of a knee region, joints 18R and 18L of the roll direction of a foot, and joints 20R and 20L of this pitching axis below. **** 22R and 22L are attached in a

foot.

[0034] In the above, an ankle joint is constituted for a hip joint (or waist joint) from joint 10R (L), 12R (L), and 14R (L) by joint 18R (L) and 20R (L).

Moreover, the thigh links 24R and 24L, a knee joint, and an ankle joint are connected for a hip joint and a knee joint by the leg links 26R and 26L.

[0035] Furthermore, in the high order of the lumbar part, it is the upper part of the body (or base.). While 28 shown by the link is prepared, the upper limit is equipped with the arm link 3 which consists of seven joints of each right and left (the electric motor which drives it shows each joint similarly for the facilities of an understanding).

[0036] Sequentially from a top, seven joints consist of the joints 30R and 30L of the roll axes of a shoulder, the joints 32R and 32L of this pitching axis, the joints 34R and 34L for winding of an arm, the joints 36R and 36L of the roll axes of the elbow section, joints 38R and 38L for wrist winding, joints 40R and 40L of these roll axes, and joints 42R and 42L of this pitching axis. Hands (end effector) 44R and 44L are attached in the point of a wrist.

[0037] In the above, a wrist joint is constituted for the shoulder joint from joint 30R (L), 32R (L), and 34R (L) by joint 38R (L), 40R (L), and 42R (L).

Moreover, the overarm links 46R and 46L, an elbow joint, and a wrist joint are connected for the shoulder joint and an elbow joint by the lower arm links 48R and 48L.

[0038] In addition, the control unit 50 which consists of a microcomputer later mentioned about drawing 2 is stored in the interior of the upper part of the body (base) 28.

[0039] By the above-mentioned configuration, the foot link 2 can give six degrees of freedom about a guide peg on either side, respectively, by driving these $6 \times 2 = 12$ piece joints at a proper include angle during a walk, the movement toward a request can be given to the whole guide peg, and arbitration can be walked around three-dimension space ("*" shows multiplication on these specifications). In addition, like the above, the X-axis is set as a robot's travelling direction (pitching axis), and the Z-axis is set as a Y-axis and the direction of a vertical (gravity shaft) for a longitudinal direction (roll axes).

[0040] Moreover, the arm link 3 can give seven degrees of freedom about an arm on either side, respectively, and pushing the truck mentioned later etc. can work a request by driving these $7 \times 2 = 14$ piece joints at a proper include angle.

[0041] As shown in drawing 1, well-known 6 axial-tension sensor 56 is attached in ***22R (L) of the lower part of an ankle joint, and the 3 direction components Fx, Fy, and Fz of floor reaction force and the 3 direction components Mx, My, and Mz of the moment which act on a robot from a ground plane among the external force which acts on a robot are detected.

[0042] Furthermore, between wrist joint and hand 44R (L), 6 axial-tension sensor 58 of the same kind is attached, and the 3 direction components Fx, Fy, and Fz of the other external force which acts on a robot, especially the above mentioned object reaction force received from an activity object, and the 3 direction components Mx, My, and Mz of the moment are detected.

[0043] Moreover, the inclination sensor 60 is installed in the upper part of the body 28, and the inclination to the Z-axis (vertical axis (gravity shaft)) and its angular velocity are detected on it. Moreover, the rotary encoder which detects the rotation is prepared and the electric motor of each joint is constituted as a foot actuator or an arm actuator with a displacement pickup while carrying out the relative displacement of the links 24 and 26R (L) which described the output above through moderation and the reducer (not shown) which carries out energizing. The output of these 6 axial-tension sensor 56 etc. is sent to a control unit 50 (it illustrates only about a robot's 1 right-hand side for the facilities of illustration).

[0044] Drawing 2 is the block diagram showing the detail of a control unit 50, and consists of microcomputers. In there, the output of the inclination sensor 60 etc. is changed into digital value with A/D converter 70, and the output is sent to RAM74 through a bus 72. Moreover, the output of the encoder which adjoins an electric motor and is arranged in each actuator is inputted in RAM74 through a counter 76.

[0045] In the control unit, the arithmetic unit 80 which consists of a CPU is formed, and like the after-mentioned, an arithmetic unit 80 computes a joint angular-displacement command (actuator a variation rate command), and

sends it out to RAM74 so that a robot can continue a stable posture based on the gait stored in ROM84.

[0046] Moreover, an arithmetic unit 80 reads the command and the detected actual measurement from RAM74, computes a control value (control input) required for the drive of each joint, and outputs it to the electric motor of D/A converter 86, the foot actuator which drives each joint through the actuator driving gear (amplifier) 88 formed in each joint, and an arm actuator.

[0047] Drawing 3 is the block diagram showing functionally the configuration and actuation of a leg formula mobile robot of attitude control equipment (equivalent to the arithmetic unit 80 mainly described above) concerning this invention.

[0048] This equipment is equipment which controls actuation of a foot and an arm integrative, and outputs the displacement command to each actuator driving gear 88. Like illustration, this equipment consists of a target activity pattern generation machine, an object reaction force balance control unit, a foot Maine control unit, and an arm Maine control unit.

[0049] Below, for the facilities of an understanding, the robot activity situation shown in drawing 4 is mentioned as an example, and the contents of processing of each component of this equipment are explained. In drawing 4 , since the absolute value of the real object reaction force received from a truck has become small suddenly rather than the target object reaction force currently assumed in the target activity pattern while the robot 1 is pushing the truck 100, a robot 1 loses balance by this gap, and it considers as the situation of inclining before. The equipment concerning the gestalt of this operation is controlled to always maintain ** balance also in such a situation.

[0050] A target activity pattern generation machine generates the target activity pattern which is satisfied with the bottom of a certain assumption condition of a dynamical equilibrium condition. A target activity pattern is expressed by the time amount change pattern of two or more variables. This variable consists of a variable expressing movement, and a variable expressing the reaction force received from an environment.

[0051] Here, the variable expressing movement is the group of the variable which the posture between each ** can determine uniquely by this.

Specifically, it consists of a target **** location and a posture, a target upper-part-of-the-body location and a posture, and a target hand location and a posture.

[0052] Moreover, the variable expressing the reaction force received from an environment consists of the target all-ground-reaction-force central point (location) (target ZMP (location)), target all ground reaction force, and target object reaction force.

[0053] Each [these] variable is expressed with support-saddle system of coordinates. It is the system of coordinates which make a zero the point from a support-saddle ankle (intersection of Joints 18 and 20R (L)) to ****22R (L) projecting [perpendicular], and as shown in drawing 5 and drawing 6 , support-saddle system of coordinates are the system of coordinates fixed to the floor to which the support saddle touches, and are system of coordinates which make the sense in front of support leg Taira the sense of the X-axis, and make the sense of a Y-axis, and the direction facing up of a vertical the Z-axis sense for facing the left.

[0054] Below, a detail is explained about each [these] variable.

[0055] When calling the external force except each guide-peg ground bed reaction force object reaction force among the external force which a robot receives from an environment like the above, target object reaction force is the desired value. In the example of drawing 4 , hand 44R (L) is the thing of the reaction force received from an object 100.

[0056] The target object reaction force which a target activity pattern generation machine outputs is expressed by the force and the moment which act on the circumference of the target all-ground-reaction-force central point mentioned later. Incidentally, the moment component of these is important for posture stabilization.

[0057] Explanation of target all ground reaction force and the target all-ground-reaction-force central point (location) calls resultant force of the target floor reaction force which each **** should receive from a floor during an activity the target all ground reaction force of a wide sense. The target all ground reaction force of a wide sense is expressed with the force and the moment in the target all-ground-reaction-force central point and its point. The

target all-ground-reaction-force central point is a point on the floor line where the circumference moment component of the X-axis and the circumference moment component of a Y-axis become 0, when target all ground reaction force is expressed with the force and the moment which make the point point of application.

[0058] Target all ground reaction force in a narrow sense means the force and the moment at the time of expressing the target all-ground-reaction-force central point for it with the force and the moment, having used target all ground reaction force of a wide sense as point of application. The target all ground reaction force which a target activity pattern generation machine outputs is target all ground reaction force in a narrow sense.

[0059] As long as there is no explanation especially henceforth, target all ground reaction force points out target all ground reaction force in a narrow sense. In addition, when walking a flat floor line, the point of application of target all ground reaction force is usually set up on the floor line.

[0060] In the field of walk control, the well-known concept of ZMP also extends a concept as follows from the former. That is, when resultant force of the inertial force, gravity, and object reaction force which are produced by movement of a robot is expressed with the force and the moment which make the point point of application, the point on the floor line where the circumference moment component of the X-axis and the circumference moment component of a Y-axis become 0 is called ZMP. ZMP in case a robot exercises a target is called Target ZMP (location).

[0061] Saying that a target activity pattern satisfies a dynamical equilibrium condition is that the above-mentioned inertial force, the gravity, the resultant force of object reaction force, and target all ground reaction force which are produced with a target activity pattern negate each other, and are set to 0. Therefore, in order to satisfy a dynamical equilibrium condition, the target all-ground-reaction-force central point and Target ZMP must be in agreement.

[0062] The target activity pattern which is satisfied with a target activity pattern generation machine of a dynamical equilibrium condition is generated.

Therefore, the target all-ground-reaction-force central point (location) which a target activity pattern generation machine generates is in agreement with

Target ZMP (location).

[0063] A target **** location and a posture, a target upper-part-of-the-body location and a posture, and a target hand location and a posture express the location and posture of each part which were expressed by the above mentioned support-saddle system of coordinates. It is specifically this specification and the location of the upper part of the body 28 and its rate mean representation points, such as a center-of-gravity location of the upper part of the body 28, and the rate of those (variation rate). Furthermore, the upper part of the body or the posture of **** means the "sense" in X, Y, and Z space.

[0064] An object reaction force balance control unit and its control make the core of control of the gestalt of this operation, and an object reaction force balance control unit controls, taking a dynamical equilibrium condition into consideration, in order to maintain posture balance. Then, before explaining the outline of an object reaction force balance control unit, a dynamical equilibrium condition is explained below.

[0065] The biggest factor that opts for the behavior of an actual robot's posture inclination is the balance of the actual moment of force in the circumference of the target all-ground-reaction-force central point (namely, target ZMP).

[0066] The moment of force which acts on the circumference of the target all-ground-reaction-force central point is enumerated below.

1) Inertial force moment 2 gravity moment 3 all-ground-reaction-force moment
4 object reaction force moment [0067] Although the above moment was explained also in advance, it is defined below anew.

[0068] The inertial force moment is the moment produced by change of the angular momentum of the robot of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point. This value is calculated by the Eulerian equation and specifically reverses the sign of the first degree differential value of the angular momentum of the robot of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point.

[0069] The inertial force moment of a target activity pattern is called the target inertial force moment. The inertial force moment when the actual robot is

working is called the real inertial force moment.

[0070] The gravity moment is the moment to which the gravity which acts on a robot's center of gravity acts on the circumference of the target all-ground-reaction-force central point.

[0071] Resultant force of the floor reaction force which acts on each **** is called all ground reaction force. The all-ground-reaction-force moment is the moment to which all ground reaction force acts on the circumference of the target all-ground-reaction-force central point.

[0072] The reaction force received from an activity object is called object reaction force. The object reaction force moment is the moment to which activity object reaction force acts on the circumference of the target all-ground-reaction-force central point.

[0073] Now, it is assumed with an ideal foot Maine control device that the robot 1 followed to the movement pattern of a target activity pattern faithfully. At this time, the real gravity moment of the real inertial force moment corresponds with the target gravity moment in accordance with the target inertial force moment.

[0074] On the other hand, the sum of the real inertial force moment, the real gravity moment, a real all ground reaction force moment, and the real object reaction force moment is surely 0 by the principle (Eulerian equation) of dynamics.

[0075] Therefore, in order for a robot 1 to move as the movement pattern of a target activity pattern faithfully, the sum of the target inertial force moment, the target gravity moment, a real all ground reaction force moment, and the real object reaction force moment must be 0. This is made into conditions 1.

[0076] However, in fact, the real object reaction force moment is not in agreement with the target object reaction force moment, and a difference arises. For example, as drawing 4 was described, while doing the activity which pushes a truck, it is in the situation which has become small suddenly rather than the value which the absolute value of the actual rolling-friction force of a truck (namely, target object) assumed.

[0077] Target object reaction force becomes larger to positive sense than the moment which acts on the circumference of the Y-axis of the target all-

ground-reaction-force central point, the moment to which real object reaction force acts on the circumference of the Y-axis of the target all-ground-reaction-force central point stops filling conditions 1 with the situation of this drawing, and a robot 1 inclines forward. In addition, the sense of the moment makes forward the moment which rotates a robot 1 clockwise toward the forward direction of an axis of coordinates.

[0078] In order to satisfy conditions 1 also in such a situation, two kinds of technique as follows can be considered.

[0079] A real all ground reaction force moment is changed so that the technique 1 above-mentioned deflection may be negated. A foot Maine control unit is specifically ordered so that the negative floor-reaction-force moment may be generated in the circumference of the target all-ground-reaction-force central point, in a foot Maine control unit, ***** of ****22R (L) is lowered in response to this command, and a real all ground reaction force moment is made to increase to negative sense. That is, it is made to take a posture which straddles on foot.

[0080] The target inertial force moment and the target gravity moment are corrected by correcting the movement pattern of a target activity pattern so that the technique 2 above-mentioned deflection may be negated. Specifically, the target inertial force moment and the target gravity moment are corrected by correcting a target upper-part-of-the-body location and/or a posture. That is, it is made to move with the upper part of the body near at hand.

[0081] With the equipment concerning the gestalt of this operation, both technique was performed to coincidence, it corresponded to a quick change by mainly using technique 1 in the short term, and ** balance was always maintained, completing a real all ground reaction force moment as the original target all-ground-reaction-force moment by mainly using technique 2 in the long run.

[0082] Since a real all ground reaction force moment can be quickly changed with a foot Maine control unit only by changing the target all-ground-reaction-force moment, technique 1 is fit for short-term correspondence. However, if a real all ground reaction force moment is changed a lot, the contact pressure distribution of ****22R (L) inclines, a feeling of touch-down decreases, and

when the worst, a part of ****22R (L) will float. Therefore, in the long run, if possible, it should return to the original target all-ground-reaction-force moment.

[0083] What is necessary is to shift a center-of-gravity location, and just to correct the movement pattern of a target activity pattern by technique 2 so that the above-mentioned deflection may be negated with the target gravity moment in order to return a real all ground reaction force moment to the original target all-ground-reaction-force moment. However, if a center-of-gravity location is shifted rapidly, since the excessive target inertial force moment will occur in the reverse sense, it is necessary to shift a center-of-gravity location slowly. Therefore, technique 2 is fit for long-term correspondence.

[0084] An object reaction force balance control unit is explained on the assumption that the above. An object reaction force balance control unit is equipment with the above-mentioned control function.

[0085] The inputs of an object reaction-force balance control unit are a target upper-part-of-the-body location and a posture, the target all-ground-reaction-force central point (a location), target object reaction force, the detection value of a 6 axial-tension sensor 58, a last correction target hand location and a posture, a last correction target upper-part-of-the-body location and a posture, and a last correction target **** location and a posture (when using an approximation operation, in addition, a last correction target hand location and a posture, a last correction target upper-part-of-the-body location and a posture, and a last correction target **** location and a posture are unnecessary)

[0086] In an object reaction force balance control unit, in order to realize the above-mentioned control function, target object reaction force is transposed to the detection value of real object reaction force, and a target upper-part-of-the-body location and a posture, and target all ground reaction force are corrected so that it may be balanced dynamically. The object reaction force (namely, corrected target object reaction force) and real object reaction force which the activity pattern corrected by this assumes are in agreement, and a robot's dynamical equilibrium condition is satisfied.

- [0087] The outputs of an object reaction force balance control unit are a correction target upper-part-of-the-body location and a posture, and the compensation all ground reaction force for object reaction force balance control.
- [0088] A correction target upper-part-of-the-body location and a posture are the target upper-part-of-the-body location and a posture corrected by the object reaction force balance control unit. The compensation all ground reaction force for object reaction force balance control is all ground reaction force applied to the target all-ground-reaction-force central point (location) by correction. In addition, especially the important components for posture stabilization in the inside of the component of the compensation all ground reaction force for object reaction force balance control are a circumference moment component of the X-axis, and a circumference moment component of a Y-axis.
- [0089] In order to satisfy a dynamics equilibrium condition in [as the deflection of both moment shows more correctly sudden change, i.e., drawing 7 ,] changing in the shape of a step, the deflection of real object reaction force and target object reaction force, and if only the behavior of the output of an object reaction force balance control unit is described, the moment component of the compensation all ground reaction force for object reaction force balance control answers quickly according to this difference at first.
- [0090] It sets into the location and the posture in which a correction target upper-part-of-the-body location and a posture balance with this deflection statically after that after a while, and the moment component of the compensation all ground reaction force for object reaction force balance control is converged on 0. In addition, a configuration and algorithm explanation of an object reaction force balance control unit are mentioned later.
- [0091] In drawing 3 , the desired value inputted into a foot Maine control unit is the target all ground reaction force and the compensation all ground reaction force for object reaction force balance control which act on a correction target upper-part-of-the-body location and a posture, a target **** location and a posture, the target all-ground-reaction-force central point

(location), and its point.

[0092] If the function of a foot Maine control device is said simply, it will be equipment which performs to coincidence posture stabilization control which operates the actuator (an electric motor and encoders, such as joint 10R (L)) of a foot, and follows a target posture, and floor-reaction-force control which follows target floor reaction force. In addition, since it is impossible to satisfy a target posture and target floor reaction force to coincidence completely, suitable adjustment is performed and it is controlled to satisfy both in the long run.

[0093] In order to restore in more detail the real upper-part-of-the-body location and posture detected by the inclination sensor 60 to a correction target upper-part-of-the-body location and a posture The moment component of real all ground reaction force which computes the restoration all ground reaction force which the target all-ground-reaction-force central point should be made to generate, and acts on the target all-ground-reaction-force central point A target **** location and a posture are corrected in order to rotate or move ****22R (L) up and down so that it may be in agreement with the moment component of resultant force of this restoration all ground reaction force, target all ground reaction force, and the compensation all ground reaction force for object reaction force balance control. The corrected target **** location and posture are called the last correction target **** location and a posture.

[0094] Therefore, if the real upper-part-of-the-body location and posture detected by the inclination sensor 60, and its rate of change are in agreement with a correction target upper-part-of-the-body location and a posture, and its rate of change, they will correct a target **** location and a posture so that the moment component of real all ground reaction force which acts on a target all-ground-reaction-force central point location may be in agreement with the moment component of resultant force of target all ground reaction force and the compensation all ground reaction force for object reaction force balance control.

[0095] the target foot joint as which a foot Maine control unit is further determined from a correction target upper-part-of-the-body location and a

posture, and a correction target **** location and a posture -- a variation rate - - a real joint -- a foot actuator is controlled so that a variation rate follows.

[0096] A foot Maine control system consists of a foot Maine control unit and the above mentioned inclination sensor 60, a 6 axial-tension sensor 56 formed in ****22R (L), an actuator driving gear 88, and an actuator (the electric motor for joint 10R (L) thru/or 20R(L), and encoder).

[0097] The target **** location and posture corrected with the foot Maine control unit are sent to an object reaction force balance control unit as the last correction target **** location and a posture. However, in an object reaction force balance control device, if change of the center-of-gravity location of the robot by the target **** location and the posture having been corrected can be disregarded, it is not necessary to send the last correction target **** location and a posture to an object reaction force balance control device.

[0098] In drawing 3 , the desired value inputted into an arm Maine control unit is a correction target upper-part-of-the-body location and a posture, a target hand location and a posture, and target object reaction force.

[0099] If the function of an arm Maine control device is said simply, it will be performing to coincidence attitude control which operates the actuator (others [encoder / electric motors, such as joint 30R (L), and]) of an arm, and follows a target posture, and object reaction force control which follows target object reaction force. Since it is impossible to satisfy a target posture and target object reaction force to coincidence completely, what is known as the compliance control of a manipulator and the so-called virtual compliance control is used from proper technique, for example, the former, (the volume mechanical-engineering handbook and on engineering, 4 - 100 pages of C).

[0100] When a concrete control-system configuration and a concrete algorithm are explained below, an arm Maine control system consists of an arm Maine control device and a 6 axial-tension sensor 58 formed in the above mentioned hand 44 (L), an actuator driving gear 88, and an arm actuator (the electric motor for joint 30R (L) thru/or 42R(L), and encoder).

[0101] An arm Maine control unit corrects a target hand location and a posture according to the difference of the real object reaction force detected by 6 axial-tension sensor 58, and target object reaction force. The corrected target

hand location and posture are called the last correction target hand location and a posture. the target wrist jaw as which an arm Maine control unit is determined from a correction target upper-part-of-the-body location and a posture, and the last correction target hand location and a posture -- a variation rate -- a real joint -- an arm actuator is controlled so that a variation rate follows.

[0102] Here, the detail of an object reaction force balance control unit is explained.

[0103] It is the functional block diagram in which drawing 8 shows a part for the first portion of the control block diagram of an object reaction force balance control unit, and drawing 9 shows the second half part of the control block diagram of an object reaction force balance control unit.

[0104] With reference to drawing 8 , it explains from processing for the first portion.

[0105] First, since it is thought that actual hand 44R (L) is in the last correction target hand location and a posture mostly with an arm Maine control unit The real object reaction force detected by 6 axial-tension sensor 58 is changed into the force and the moment of the circumference of the zero of support-saddle system of coordinates by the correction target hand location and the posture (by the KINEMA tex operation, from real joint displacement). A real hand location and a posture may be searched for, and real object reaction force may be changed using this.

[0106] Next, the real object reaction force moment of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point is obtained by changing the changed real object reaction force into the force and the moment of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point. Finally, the object reaction force moment deflection of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point is obtained by from now on lengthening the target object reaction force moment of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point.

[0107] Next, with reference to drawing 9 , processing of the second half part of an object reaction force balance control unit is explained.

[0108] First, the perturbation dynamics model used there is explained.

[0109] A perturbation dynamics model is a model showing the relation of the target all-ground-reaction-force moment perturbation quantity, and the upper-part-of-the-body location and the posture perturbation quantity at the time of giving the constraint in movement (perturbation) of a target activity pattern. While a robot's upper-part-of-the-body posture had been made as an example in agreement with below into a target upper-part-of-the-body posture as shown in drawing 10, the model which carries out the perturbation of the horizontal position of the upper part of the body is explained.

[0110] Here, a notation is fixed as follows.

m: All robot mass g: Gravitational acceleration h: In the center-of-gravity height from the target all-ground-reaction-force central point, deltaxG: X component deltayGof a target center-of-gravity location perturbation quantity : Y component deltaxbof a target center-of-gravity location perturbation quantity : X component deltaybof a target upper-part-of-the-body location perturbation quantity : Y component deltaMxof a target upper-part-of-the-body location perturbation quantity : Y component deltaMGx of the target all-ground-reaction-force moment perturbation quantity of the circumference of the X component deltaMy:target all-ground-reaction-force central point of the target all-ground-reaction-force moment perturbation quantity of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point : X component deltaM Gyof the target gravity moment perturbation quantity of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point : Y component [of the perturbation quantity of the target angular momentum of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point] d[X component deltaLy:] (a)/dt of the perturbation quantity of the target angular momentum of the circumference of the Y component deltaLx:target all-ground-reaction-force central point of the target gravity moment perturbation quantity of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point: Time amount differential d of Variable a () d (a) / dt/dt: The second degree differential of time amount of Variable a [0111] A degree type is drawn from the definition of the gravity moment.

deltaMGx= - delta yG*mgdeltaM Gy=delta xG*mg ... Formula 1 [0112] A

degree type will be drawn if the equivalence moment of inertia of the

circumference of the center of gravity about a robot's movement perturbation can ignore sufficiently small.

$\delta L_x = -mh^* \frac{d(\delta y_G)}{dt}$... Formula 2 [0113]

A degree type is drawn by the Eulerian equation.

$d(\delta L_x) / dt = \delta MG_x + \delta M_x d(\delta y_G) / dt = \delta MG_y + \delta M_y ...$

Formula 3 [0114] A degree type can be obtained as the equation of motion of a perturbation dynamics model from an equation 1, an equation 2, and an equation 3.

$mh^* \frac{d(d(\delta x_G)/dt)}{dt} = \delta x_G * mg + \delta M_y mh^* \frac{d(d(\delta y_G)/dt)}{dt} = \delta y_G * mg - \delta M_x ...$ Formula 4 [0115] By the way, it is thought that a target center-of-gravity location perturbation quantity and a target upper-part-of-the-body location perturbation quantity are in proportionality mostly.

Therefore, if a proportionality constant is set to k, a target upper-part-of-the-body location perturbation quantity will be obtained by the degree type.

$\delta x_b = k \delta x_G$ $\delta y_b = k \delta y_G$... Formula 5 [0116] As mentioned above, a perturbation dynamics model computes a target center-of-gravity location perturbation quantity and a target upper-part-of-the-body location perturbation quantity using a formula 4 and a formula 5. In the case of a digital operation, a formula 4 discretizes and uses it like this equipment in detail.

Incidentally, an equation 4 is in agreement with the equation of motion of height h shown in drawing 11, and the handstand pendulum of mass m.

[0117] In the section, the object reaction force moment deflection of the circumference of the above mentioned target all-ground-reaction-force central point is inputted into the last attainment target center-of-gravity perturbation quantity calculation section in the second half of an object reaction force balance control unit in which it is shown in drawing 9.

[0118] The center-of-gravity perturbation quantity for negating the object reaction force moment deflection of the circumference of this target all-ground-reaction-force central point in the long run, and maintaining balance is called the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity. The last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity calculation section computes the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity from the above-mentioned deflection.

[0119] X component deltayGe of the Y component deltaxGe:last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity of the gravity moment generated here by the X component deltaMGoy:last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity of the gravity moment generated by the Y component deltaMGox:last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity of the X component deltaMoy:object reaction-force moment deflection of deltaMox:object reaction-force moment deflection: Consider as Y component of the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity.

[0120] In order to deny with the gravity moment which generates object reaction force moment deflection by the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity, it is necessary to satisfy a degree type. $\text{deltaMGox} = -\text{deltaMox}$ $\text{deltaMGoy} = -\text{deltaMoy}$... Formula 6 [0121] The gravity moment generated by the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity becomes like a degree type.

$\text{deltaMGox} = -\text{mg} * \text{deltayGe}$ $\text{deltaMGoy} = \text{mg} * \text{deltaxGe}$... Formula 7 [0122] A degree type is obtained from a formula 6 and a formula 7.

$\text{deltaxGe} = - \text{deltaMoy}/\text{mg}$ $\text{deltayGe} = \text{deltaMox}/\text{mg}$... Formula 8 [0123]

Therefore, what is necessary is just to compute the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity by the formula 8.

[0124] a difference with the target center-of-gravity location perturbation quantity which the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity and a perturbation dynamics model will output if the model control-law computing element of an object reaction force balance control device is explained -- a center of gravity -- a variation rate -- it is called deflection. A model control-law computing element performs control for completing this center-of-gravity displacement deflection as 0. An output is the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control.

[0125] What is necessary is for a PD control law like a degree type just to specifically determine the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control.

compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control = $K_p * \text{center of gravity} - \text{a variation rate} - \text{deflection} + K_d *$

center of gravity -- a variation rate -- differential value of deflection ... a formula 10 -- here, Kp is proportional gain and Kd is a rate gain.

[0126] If the summation point immediately after the output of a model control-law computing element is explained, the sum of the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control and the object reaction force moment deflection of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point will be inputted into a perturbation dynamics model by the summation point immediately after the output of a model control-law computing element as a target all-ground-reaction-force moment perturbation quantity for a model (the amount of model inputs), and the target upper-part-of-the-body location and posture perturbation quantity corresponding to the input will be computed. This is added to a target upper-part-of-the-body location and a posture, and a correction target upper-part-of-the-body location and a posture are made.

[0127] By the way, since a perturbation dynamics model fulfills a dynamical equilibrium condition, the sum of the target inertial force moment perturbation quantity and target gravity moment perturbation quantity which are generated by the target upper-part-of-the-body location and posture perturbation quantity which is a model output, and a model input is 0.

[0128] Therefore, a degree type is materialized.

Target inertial force moment perturbation quantity + Target gravity moment perturbation quantity + The compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control + Object reaction force moment deflection = 0 ... Formula 11 [0129] On the other hand, a command is sent to a foot Maine control unit so that the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control may be additionally generated in the circumference of the target all-ground-reaction-force central point. That is, it is controlled so that the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control is applied to a real all ground reaction force moment as a real all ground reaction force moment perturbation quantity. The real all ground reaction force moment generated as a result is called a correction real all ground reaction force moment.

[0130] Therefore, a degree type is materialized.

Real all ground reaction force moment perturbation quantity = The compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control ... Formula 12 [0131] A degree type is obtained from a formula 11 and a formula 12.

Target inertial force moment perturbation quantity + Target gravity moment perturbation quantity + Real all ground reaction force moment perturbation quantity + Object reaction force moment deflection = 0 ... Formula 13 [0132]

By the way, since the target activity pattern has satisfied the dynamical equilibrium condition, it satisfies a degree type.

Target inertial force moment + Target gravity moment + Real all ground reaction force moment + Target object reaction force moment = 0 ... Formula 14 [0133] A degree type is obtained from that each correction moment adds a moment perturbation quantity to the original moment, that the real object reaction force moment is the sum of the target object reaction force moment and object reaction force moment deflection and a formula 13, and a formula 14 as identity.

Correction target inertial force moment + Correction target gravity moment + Correction real all ground reaction force moment + Real object reaction force moment = 0 ... Formula 15 [0134] A formula 15 means the target inertial force moment, the target gravity moment, and a real all ground reaction force moment being corrected, and always fulfilling conditions 1 by object reaction force balance control, even if the real object reaction force moment shifts from the target object reaction force moment how.

[0135] If the same thing is put in another way using a formula 13, even if object reaction force moment deflection occurs, by object reaction force balance control, a target inertial force moment perturbation quantity, a target gravity moment perturbation quantity, and a real all ground reaction force moment perturbation quantity occur, and it can be said that the effect of object reaction force moment deflection is denied that conditions 1 are satisfied.

[0136] The behavior of the object reaction force balance control to the situation of the truck push activity of drawing 4 is explained again with reference to drawing 7.

[0137] As shown in drawing, while doing the activity which pushes a truck, in

the situation which has become small to the shape of a step, object reaction force moment deflection also changes in the shape of a step suddenly rather than the value which the absolute value of the actual rolling-friction force of a truck (namely, target object) assumed.

[0138] On the other hand, the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity calculation section computes the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity. According to the difference of the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity and a target center-of-gravity location perturbation quantity, the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control is computed by the model control-law computing element.

[0139] It carries out asymptotic [of it] to 0 as are shown in drawing 7 , and a target center-of-gravity location perturbation quantity carries out asymptotic [of the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control] to the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity. The sum of the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control and object reaction force moment deflection is inputted into a perturbation dynamics model, and a target center-of-gravity location perturbation quantity, and a target upper-part-of-the-body location and a posture perturbation quantity are outputted from a perturbation dynamics model. In addition, in this example, since it is a constraint not to change a posture, a target upper-part-of-the-body location and a posture perturbation quantity are 0.

[0140] By the way, since a perturbation dynamics model satisfies a dynamical equilibrium condition, the total which applied the moment inputted into the perturbation dynamics model to the sum of the target inertial force moment perturbation quantity generated by the target upper-part-of-the-body location and the posture perturbation quantity and a target gravity moment perturbation quantity is 0.

[0141] That is, the sum of a target inertial force moment perturbation quantity, a target gravity moment perturbation quantity, the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control, and object reaction force moment deflection is set to 0. This relation is always

materialized, as shown in drawing 7. It carries out asymptotic [of the target center-of-gravity location perturbation quantity] to the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity with a model control-law computing element. a target center-of-gravity location perturbation quantity -- a target gravity moment perturbation quantity -- proportionality -- or it changes proportionally mostly.

[0142] The above is the behavior of an object reaction force balance control unit. In addition, all the above-mentioned control operations are performed for every control period. Therefore, whenever the real object reaction force moment may change, ** balance is always maintained. When putting in another way and the object reaction force moment shifts from desired value, it is switched so that the upper part of the body may be moved ahead with time and it may depend on the gravity moment, while attitude control is carried out so that a robot 1 may operate the all-ground-reaction-force moment at first and ***** (tip of pair-of-shoes Taira 22R(L)) may be straddled.

[0143] Drawing 12 shows the gestalt of implementation of the 2nd of this invention, forms a limiter 200, sets the limiting value of an upper limit minimum as the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity, and applies a limit.

[0144] In the above-mentioned gestalt of operation, in fact, if the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity is enlarged not much, the case where it becomes impossible to take a robot's posture will arise. Therefore, in order to prevent this, the limiting value (range) of an upper limit minimum is set as the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity obtained by the formula 7, and the limit was applied to it. In addition, a fixed value is sufficient as the limiting value (limit value), or it is good also as an adjustable value.

[0145] Furthermore, the 2nd limiter 300 is formed, the limiting value (range) of an upper limit minimum is set also to the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control calculated with the model control-law computing element, and the limit was applied.

[0146] That is, although a real robot's ****22R (L) is made to generate the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force

balance control, if there is a limit in the all-ground-reaction-force moment which can generate a real robot's **** and a limit is exceeded, the road-hugging of **** will be spoiled or a part of **** will float from a floor. In order to prevent it, a model control-law computing element sets the limiting value of an upper limit minimum as the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control calculated using the formula 10, and applied the limit. It is the same as that of the case of a limiter 200 that immobilization or adjustable are sufficient as the limiting value.

[0147] It forms the 2nd limiter 500 and corrected the compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control with the input value beyond the 1st limiter 400 while drawing 13 showed the gestalt of implementation of the 3rd of this invention, formed the limiter 400, set the limiting value of an upper limit minimum as the input of the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity calculation section and applied the limit.

[0148] Although the limiting value (range) of an upper limit minimum is set as the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity obtained by the formula 7 and the limit was applied to it in order to prevent that the last attainment target center-of-gravity location perturbation quantity becomes [which was shown in drawing 12] excessive in the gestalt of the 2nd operation The value beyond limiting value (limit value) might be added to the output of a model control-law computing element in the summation point 600 (drawing 12), and it might be inputted into the model. For this reason, what resisted object reaction force moment deflection and was carrying out the perturbation of the center-of-gravity location might produce un-arranging [which is referred to as rocking a center-of-gravity location to hard flow], when object reaction force moment deflection became excessive and the limiter operated.

[0149] The gestalt of the 3rd operation cancels above-mentioned un-arranging, and when it let the 2nd limiter 500 pass and the input value beyond the limiting value (limit value) of the 1st limiter 400 was subtracted and put in another way from the output of a model control-law computing element at the point 700 adding [subtract and] delivery and there, it corrected the

compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction-force balance control so that the force which tends to be made to reverse a polarity and it is going to upset, and the force of the reverse sense might be given. Attitude control of the robot is carried out by this so that the input value (moment deflection) beyond limiting value (limit value) may be supported by ****22R (L).

[0150] Unlike the gestalt of the 2nd operation, the value beyond a limit value is added to the output of a model control-law computing element in a summation point 710 (drawing 13), and it is not inputted into a model. For this reason, object reaction force moment deflection which was described above can become excessive, a limiter can operate, and it can cancel un-arranging [which is referred to as rocking a center-of-gravity location to hard flow]. In addition, a residual configuration does not differ from the gestalt of old operation. It is the same as that of the gestalt of old operation that immobilization or adjustable are sufficient as the limiting value (limit value) of the 1st limiter 400. Furthermore, a limiter 400 and the same limiter may be added after a model control-law computing element.

[0151] Drawing 14 used the handstand pendulum model which gave the inertial force moment I, in order to show the gestalt of implementation of the 4th of this invention and to raise the precision of a perturbation dynamics model in an object reaction force balance control device.

[0152] Furthermore, if it elaborates about a perturbation dynamics model and center-of-gravity height will seldom change, although immobilization is sufficient as it, when center-of-gravity height changes according to an activity, h may find center-of-gravity height from the robot posture searched for from the last correction target upper-part-of-the-body location and a posture, the last correction target **** location and a posture, and the last correction target hand location and a posture, and may change h according to this.

[0153] Moreover, in order to raise the precision of a perturbation dynamics model more, it has the multi-link geometrical model of a robot with the link of ****. The center-of-gravity location called for from the last correction target upper-part-of-the-body location and a posture, the last correction target **** location and a posture, and the last correction target hand location and a

posture, By searching for a difference with the center-of-gravity location called for from the upper-part-of-the-body location and the posture, the last correction target **** location and the posture, and the last correction target hand location and the posture which deducted the perturbation quantity of an upper-part-of-the-body location from the last correction target upper-part-of-the-body location and the posture It may ask for the relation between the perturbation quantity of a highly precise center-of-gravity location, and the perturbation quantity of an upper-part-of-the-body location, and the perturbation quantity of an upper-part-of-the-body location may be calculated from the perturbation quantity of a center-of-gravity location using it.

[0154] Moreover, it is the multi-link dynamics model of a robot with the link of ****, and the constraint in a movement pattern is given and the model to which a target upper-part-of-the-body location and a posture perturbation quantity, and a center-of-gravity location and a posture perturbation quantity are made to output by considering the perturbation of target floor reaction force as an input may be used.

[0155] by the way, the inertial force perturbation quantity of the arm when carrying out the perturbation of the arm from a target activity pattern -- and -- or if the perturbation dynamics model in consideration of the effect of a gravity perturbation quantity is used, the load of a control unit will become large.

[0156] because, the inertial force perturbation quantity of an arm -- and -- or a gravity perturbation quantity influences a target upper-part-of-the-body location and a posture perturbation quantity -- having -- reverse -- a target upper-part-of-the-body location and a posture perturbation quantity -- the inertial force perturbation quantity of an arm -- and -- or since it is influenced by the gravity perturbation quantity, it is because a very complicated operation is needed to compute model behavior in consideration of this interaction to coincidence.

[0157] The following technique may be used as a means to solve the problem.

[0158] namely, the inertial force perturbation quantity of the arm when carrying out the perturbation of the arm from a target activity pattern in a perturbation dynamics model -- and -- or the effect of a gravity perturbation quantity is disregarded and an arm is assumed to be what moves only as a

target actuation pattern. A model is approximated to the handstand pendulum model and highly uniform which were held to detail explanation of a perturbation dynamics model as an example by this assumption. Therefore, the operation of a perturbation dynamics model becomes very easy.

[0159] the inertial force perturbation quantity produced from a target hand location and a posture, the target upper-part-of-the-body location, the last correction target hand location, the posture, and the last correction target upper-part-of-the-body location in the arm Maine control unit since the perturbation of the arm was carried out to the policy objective posture from the target posture -- and -- or a gravity perturbation quantity is computed. This is obtained by performing the dynamics operation of the multi-link manipulator which is the technique from the former. This is expressed with the last correction target hand location and posture system of coordinates.

[0160] the computed inertial force perturbation quantity -- and -- or in addition to the real object reaction force detected by the sensor, a gravity perturbation quantity is outputted to an object reaction force balance control unit as real object reaction force. the above means -- the inertial force perturbation quantity of an arm -- and -- or it means taking into consideration as activity object reaction force instead of the effect of a gravity perturbation quantity being disregarded in a perturbation dynamics model the inertial force perturbation quantity of an arm -- and -- or since the operation of a gravity perturbation quantity and the operation of a perturbation dynamics model are performed independently, a complicated interference operation becomes unnecessary, and the amount of operations is small and ends.

[0161] If it is in the gestalt of the 1st thru/or the 4th operation like the above In the attitude control equipment of the leg formula mobile robot (2-pair-of-shoes bipedal robot 1) which consists of a link (the foot link 2 and arm link 3) of two or more connected with a base (upper part of the body 28) and said base at least Said robot's movement pattern which contains the target locus of said base at least, The target locus of floor reaction force which acts on said robot, and the target locus of external force other than the floor reaction force which acts on said robot are included at least. A target gait setting means (target activity pattern generation machine) to set up said robot's target gait, an

external force detection means (6 axial-tension sensor 58) to detect external force other than said floor reaction force, and said detected external force, An external force deflection operation means to calculate the deflection (object reaction force moment deflection of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point) of external force other than the floor reaction force set up by said target locus (object reaction force balance control unit.) More specifically The coordinate transformation of the real object reaction force of drawing 8 , and its I/O, The model expressing the relation of the perturbation of the center-of-gravity location of the perturbation of said floor reaction force, and said robot, and/or the location of a base (perturbation dynamics model), An amount operation means of model inputs to calculate the amount of model inputs (target all-ground-reaction-force moment perturbation quantity for a model) which should be inputted into said model based on the deflection of said calculated external force at least (I/O in a model control-law computing element and a subsequent summation point), An amount operation means of base target locus corrections inputs said calculated amount of model inputs into said model, and correct the target locus of said base according to the perturbation quantity of said center-of-gravity location obtained and/or a base to calculate the amount of base target locus corrections (a correction target upper-part-of-the-body location and posture) (object reaction force balance control unit.) Input the amount of perturbation dynamics model inputs, and the behavior of a model is more specifically calculated. The part which calculates a target upper-part-of-the-body location posture perturbation quantity (the amount of corrections) from a model output, According to said calculated amount of model inputs, correct the target locus of said floor reaction force at least. an amount operation means of floor-reaction-force target locus corrections (a model control-law computing element --) to calculate the amount of floor-reaction-force target locus corrections (compensation all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control) more -- concrete -- a part of model control law and the joint to which the variation rate of said robot's joint is carried out based on said amount of base target locus corrections and amount of floor-reaction-force target locus corrections which were calculated at least -- a

variation rate -- a means (a foot Maine control unit --) It constituted so that it might have the actuator driving gear 88, a foot actuator, etc.

[0162] Moreover, said amount operation means of model inputs was equipped with a balanced center-of-gravity location perturbation-quantity calculation means (the last attainment target center-of-gravity location perturbation-quantity calculation section) compute the perturbation quantity of the balanced center-of-gravity location which balances said external force statically, and it constituted it so that said model might converge on said computed balanced center-of-gravity location and said amount of model inputs might be calculated.

[0163] Moreover, it constituted so that it might be the model (perturbation dynamics model) to which said model approximates said robot with a handstand pendulum.

[0164] Moreover, said balanced center-of-gravity location perturbation quantity calculation means was constituted so that it might have the limiter 200,400 which restricts the perturbation quantity of said computed balanced center-of-gravity location to the predetermined range.

[0165] Moreover, said amount operation means of floor-reaction-force target locus corrections was constituted so that it might have the limiter 300,500 which restricts said calculated amount of floor-reaction-force target locus corrections to the predetermined range.

[0166] Moreover, the target locus of said floor reaction force was constituted so that the locus of the target central point of floor reaction force which acts on said robot might be included at least.

[0167] Moreover, said amount operation means of floor-reaction-force target locus corrections Said amount of floor-reaction-force target locus corrections (all-ground-reaction-force moment for object reaction force balance control compensation) The value which subtracted the deflection (object reaction force moment deflection of the circumference of the target all-ground-reaction-force central point) of said external force from said amount of model inputs (target all-ground-reaction-force moment perturbation quantity for a model), It constituted so that it might balance with the moment which acts on the circumference of the target central point of said floor reaction force dynamically, and said amount of floor-reaction-force target locus corrections

might be calculated.

[0168] Moreover, external force other than said floor reaction force constituted so that it might be the reaction force from the activity object (truck 100) which acts on said robot through said link.

[0169] Moreover, it constituted so that it might be the leg formula mobile robot with which said robot consists of a two feet link 2 connected with said base, and a two arms link 3.

[0170] Moreover, it sets to the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which consists of a link (the foot link 2, arm link 3) of two or more connected with a base (upper part of the body 28) and said base at least.

Said robot's movement pattern which includes the target position of said base at least, The locus of the target central point of floor reaction force which acts on said robot is included at least. A target gait setting means to set up said robot's target gait (target activity pattern generation machine), An object reaction force detection means act on said robot through said link to detect the reaction force from an activity object (6 axial-tension sensor 58), So that it may balance with an object reaction force moment conversion means (object reaction force balance control unit) to change said detected object reaction force as the moment of the circumference of said target floor-reaction-force central point, and said changed object reaction force moment, dynamically The robot location and a posture correction means to correct location and posture of the floor-reaction-force moment of the circumference of said target central point, and said robot (object reaction force balance control unit), and the joint which carries out the variation rate of said robot's joint to the floor-reaction-force moment of the circumference of said corrected target central point based on said robot's location and posture -- a variation rate -- it constituted so that it might have means (a foot Maine control device, the actuator driving gear 88, foot actuator, etc.).

[0171] Moreover, it sets to the attitude control equipment of the leg formula mobile robot which consists of a link (the foot link 2, arm link 3) of two or more connected with a base (upper part of the body 28) and said base at least. A target gait setting means to set up said robot's movement pattern which includes the target position of said base at least (target activity pattern

generation machine), An object reaction force detection means act on said robot through said link to detect the reaction force from an activity object (6 axial-tension sensor 58), Said detected object reaction force A predetermined point, an object reaction force moment conversion means to more specifically change as the moment of the circumference of the target floor-reaction-force central point (object reaction force balance control unit), So that it may hang at said changed object reaction force moment dynamically and it may be suited The robot location and a posture correction means to correct location and posture of the floor-reaction-force moment of the circumference of said predetermined point, and said robot (object reaction force balance control unit), and the joint which carries out the variation rate of said robot's joint to the floor-reaction-force moment of the circumference of said corrected predetermined point based on said robot's location and posture -- a variation rate -- it constituted so that it might have means (a foot Maine control device, the actuator driving gear 88, foot actuator, etc.).

[0172] In addition, in the gestalt of the above-mentioned 1st thru/or the 4th operation, although neither bending of an upper-part-of-the-body link nor the actuator for a twist was formed, when adding it, an upper-part-of-the-body actuator control unit is also needed. However, since bending and the twist of an upper-part-of-the-body link are equivalent to having added the joint to the root side of an arm or a foot, it can be regarded as the actuator of an arm or a foot on a concept. That is, it is possible that an upper-part-of-the-body actuator control unit is contained as some control units of an arm or a foot.

[0173] The other means may be used although the compliance control previously proposed by JP,5-305586,A is used with the gestalt of the above-mentioned 1st thru/or the 4th operation. If a means to control joint torque to foot control using another means other than the compliance control, for example, a means to control an electric actuator by the amplifier of a current command mold, consequently to control floor reaction force indirectly to it is used, 6 axial-tension sensor 56 formed in ****22R (L) is unnecessary.

[0174] Furthermore, in the gestalt of the above-mentioned 1st thru/or the 4th operation, joint torque may be controlled to control of an arm using another means other than virtual compliance control, for example, a means to control

an electric actuator by the amplifier of a current command mold, consequently object reaction force may be indirectly controlled to it. Although 6 axial-tension sensor of a hand is unnecessary in the control, 6 axial-tension sensor of a hand is good to prepare because of an object reaction force balance control unit.

[0175] Furthermore, in the gestalt of the above-mentioned 1st thru/or the 4th operation, an arm control unit may be equipped with the presumed machine which presumes real object reaction force from joint torque instead of 6 axial-tension sensor of a hand. The disturbance observer who is the conventional technique should just be used for this presumed machine.

[0176] Furthermore, in addition to the compliance control proposed by JP,5-305586,A, in the gestalt of the above-mentioned 1st thru/or the 4th operation, the control which these people proposed by JP,5-337849,A may be added. However, in arm control, since the location and step of the upper part of the body are corrected by the control, when the relative-position relation between a hand and an activity object is important, it is necessary to take into consideration the location of the upper part of the body and the effect of a step which are corrected by the control.

[0177] Furthermore, in the gestalt of the above-mentioned 1st thru/or the 4th operation, even when a floor is not a flat surface, these people may search for the target all-ground-reaction-force central point and Target ZMP on a virtual flat surface using the technique of assuming the virtual flat surface proposed by JP,5-318840,A.

[0178] Furthermore, in the gestalt of the above-mentioned 1st thru/or the 4th operation, if the whole robot's posture shifts from a target and it inclines, the location and posture of a hand will shift in absolute space. Consequently, object reaction force may shift from target object reaction force greatly.

[0179] In order to solve the trouble, even if the whole robot's posture inclines by amending further the policy objective hand location and the posture in which the above was corrected according to the gap of the real upper-part-of-the-body location and posture detected by the inclination sensor, and a target upper-part-of-the-body location and a posture, it is more desirable to make it the location and the posture of a hand not shift in absolute space.

[0180] Furthermore, in the gestalt of the above-mentioned 1st thru/or the 4th operation, various deformation, such as changing data-processing sequence, is possible for a block diagram.

[0181] Furthermore, although PD control law was used in the gestalt of the above-mentioned 1st thru/or the 4th operation, the other control law (for example, PID control, a state feedback control) etc. may be used.

[0182] Moreover, although this invention was explained about the leg formula mobile robot of the 2-pair-of-shoes walk equipped with the arm, it is useful also to the leg formula mobile robot which does not have an arm, and can apply not only to a 2 more pairs-of-shoes bipedal robot but to a multi-foot robot.

[0183]

[Effect of the Invention] the external force which a leg formula mobile robot cannot expect -- even if it more specifically receives reaction force from an activity object, ** balance can be maintained and a stable posture can be continued. Furthermore, even if the pattern of operation which had not been assumed beforehand receives the reaction which is not expected a link, the gravity generated on an arm when working by more specifically moving an arm, and not only inertial force but for an activity, ** balance can be maintained and a stable posture can be continued.

[0184] Moreover, also when object reaction force changes suddenly, an inclination and a fall can be effectively controlled by moving a robot's center of gravity to the location which balances statically to it. Moreover, a center-of-gravity location and floor reaction force are changed proper, and maintaining ** balance also in the transition stage which a robot's center of gravity moves, can be continued.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the explanatory view, showing the attitude control equipment of the leg formula mobile robot concerning this invention on the whole.

[Drawing 2] It is the block diagram showing the detail of the control unit of a 2-pair-of-shoes bipedal robot shown in **drawing 1**.

[Drawing 3] It is the block diagram showing functionally the configuration and actuation of a leg formula mobile robot of attitude control equipment concerning this invention.

[Drawing 4] It is the explanatory view showing the activity which the leg formula mobile robot which shows **drawing 1** does using an arm.

[Drawing 5] It is the explanatory view showing the support-saddle system of coordinates in the gait which generates the target activity pattern generation machine of **drawing 3** equipment.

[Drawing 6] It is the explanatory view showing the support-saddle system of coordinates in the gait which generates the target activity pattern generation machine of **drawing 3** equipment like **drawing 5**.

[Drawing 7] It is a timing chart explaining actuation of the object reaction force balance control device shown in **drawing 3**.

[Drawing 8] It is the first portion of the block diagram showing the detailed configuration of the object reaction force balance control device shown in **drawing 3**.

[Drawing 9] It is the second half section of the block diagram showing the detailed configuration of the object reaction force balance control device shown in **drawing 3**.

[Drawing 10] It is the explanatory view showing the perturbation dynamics model of the object reaction force balance control device shown in **drawing 9**.

[Drawing 11] It is the explanatory view showing the condition of having approximated the model shown in **drawing 10** with the handstand pendulum.

[Drawing 12] It is the second half section of the block diagram showing the detailed configuration of the object reaction force balance control device in which the gestalt of implementation of the 2nd of this invention is shown similar to **drawing 9**.

[Drawing 13] It is the second half section of the block diagram showing the

detailed configuration of the object reaction force balance control device in which the gestalt of implementation of the 3rd of this invention is shown similar to drawing 9.

[Drawing 14] It is the explanatory view showing the handstand pendulum mold perturbation dynamics model similar to drawing 11 in which the gestalt of implementation of the 4th of this invention is shown.

[Description of Notations]

1 2-Pair-of-Shoes Bipedal Robot (Leg Formula Mobile Robot)

2 Foot Link

3 Arm Link

10, 12, 14R, L Waist joint

16R, L Knee joint

18, 20R, L Ankle joint

22R, L ****

28 Upper Part of the Body

30, 32, 34R, L Mold joint

36R, L Elbow joint

38, 40, 42R, L Wrist joint

44R, L Hand

50 Control Unit

56 58 6 axial-tension sensor

60 Inclination Sensor

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-230485

(43) 公開日 平成10年(1998)9月2日

(51) Int.Cl.⁶
B 25 J 5/00

識別記号

F I
B 25 J 5/00

E
C

13/08
G 05 D 1/08

13/08
G 05 D 1/08

Z

審査請求 未請求 請求項の数11 FD (全21頁)

(21) 出願番号 特願平9-364412
(22) 出願日 平成9年(1997)12月19日
(31) 優先権主張番号 特願平8-354561
(32) 優先日 平8(1996)12月19日
(33) 優先権主張国 日本(JP)

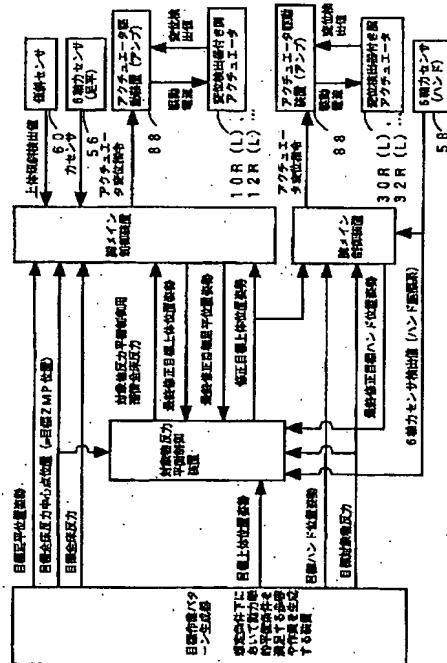
(71) 出願人 000005326
本田技研工業株式会社
東京都港区南青山二丁目1番1号
(72) 発明者 竹中 透
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内
(72) 発明者 長谷川 忠明
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内
(72) 発明者 松本 隆志
埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会
社本田技術研究所内
(74) 代理人 弁理士 吉田 豊

(54) 【発明の名称】 脚式移動ロボットの姿勢制御装置

(57) 【要約】

【課題】 脚式移動ロボット、特に2足歩行ロボットで腕を備えたものにおいて、作業対象から予期しない反力を受けても動的バランスをとって安定な姿勢を継続する。

【解決手段】 対象物反力の目標値と実際値の偏差に応じて目標上体位置・姿勢および目標足平位置・姿勢に、偏差(全床反力中心点まわりのモーメント)分配して修正し、それに応じて各リンク関節を駆動制御する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも基体と、前記基体に連結される複数本のリンクからなる脚式移動ロボットの姿勢制御装置において、

- a. 前記ロボットの少なくとも前記基体の目標軌跡を含む運動パターンと、前記ロボットに作用する床反力の目標軌跡と、前記ロボットに作用する床反力以外の外力の目標軌跡とを少なくとも含む、前記ロボットの目標歩容を設定する目標歩容設定手段、
- b. 前記床反力以外の外力を検出する外力検出手段、
- c. 前記検出された外力と、前記目標軌跡で設定された床反力以外の外力の偏差を演算する外力偏差演算手段、
- d. 前記床反力の振動と前記ロボットの重心位置および／または基体の位置の振動の関係を表現するモデル、
- e. 少なくとも前記演算された外力の偏差に基づいて前記モデルに入力すべきモデル入力量を演算するモデル入力量演算手段、
- f. 前記演算されたモデル入力量を前記モデルに入力し、得られる前記重心位置および／または基体の振動量に応じて前記基体の目標軌跡を修正する、基体目標軌跡修正量を演算する基体目標軌跡修正量演算手段、
- g. 少なくとも前記演算されたモデル入力量に応じて前記床反力の目標軌跡を修正する、床反力目標軌跡修正量を演算する床反力目標軌跡修正量演算手段、および
- h. 少なくとも前記演算された基体目標軌跡修正量および床反力目標軌跡修正量に基づいて前記ロボットの関節を変位させる関節変位手段、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの姿勢制御装置。

【請求項2】 前記モデル入力量演算手段は、

- j. 前記外力に静的に平衡する平衡重心位置の振動量を算出する平衡重心位置振動量算出手段、を備え、前記算出された平衡重心位置に前記モデルが収束するように前記モデル入力量を演算することを特徴とする請求項1項記載の脚式移動ロボットの姿勢制御装置。

【請求項3】 前記モデルが前記ロボットを倒立振子で近似するモデルであることを特徴とする請求項1項または2項記載の脚式移動ロボットの姿勢制御装置。

【請求項4】 前記平衡重心位置振動量算出手段は、

- k. 前記算出された平衡重心位置の振動量を所定の範囲に制限するリミッタ、を備えることを特徴とする請求項2項または3項記載の脚式移動ロボットの姿勢制御装置置。

【請求項5】 前記床反力目標軌跡修正量演算手段は、

- l. 前記演算された床反力目標軌跡修正量を所定の範囲に制限するリミッタ、を備えることを特徴とする請求項1項ないし4項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの姿勢制御装置。

【請求項6】 前記床反力の目標軌跡は、前記ロボットに作用する床反力の目標中心点の軌跡を少なくとも含むことを特徴とする請求項1項ないし5項記載の脚式移動

ロボットの姿勢制御装置。

【請求項7】 前記床反力目標軌跡修正量演算手段は、前記床反力目標軌跡修正量が、前記モデル入力量から前記外力の偏差を減算した値と、前記床反力の目標中心点まわりに作用するモーメントに動力学的に釣り合うように、前記床反力目標軌跡修正量を演算することを特徴とする請求項6項記載の脚式移動ロボットの姿勢制御装置。

【請求項8】 前記床反力以外の外力が、前記リンクを介して前記ロボットに作用する作業対象物からの反力であることを特徴とする請求項1項ないし7項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの姿勢制御装置。

【請求項9】 前記ロボットが、前記基体に連結される2本の脚リンクと2本の腕リンクからなる脚式移動ロボットであることを特徴とする請求項1項ないし7項のいずれかに記載の脚式移動ロボットの姿勢制御装置。

【請求項10】 少なくとも基体と、前記基体に連結される複数本のリンクからなる脚式移動ロボットの姿勢制御装置において、

- a. 前記ロボットの少なくとも前記基体の目標位置を含む運動パターンと、前記ロボットに作用する床反力の目標中心点の軌跡を少なくとも含む、前記ロボットの目標歩容を設定する目標歩容設定手段、
- b. 前記リンクを介して前記ロボットに作用する、作業対象物からの反力を検出する対象物反力検出手段、
- c. 前記検出された対象物反力を前記目標床反力中心点まわりのモーメントとして変換する対象物反力モーメント変換手段、
- d. 前記変換された対象物反力モーメントに動力学的に釣り合うように、前記目標中心点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置・姿勢を修正するロボット位置・姿勢修正手段、および
- e. 前記修正された目標中心点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置・姿勢に基づいて前記ロボットの関節を変位させる関節変位手段、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの姿勢制御装置。

【請求項11】 少なくとも基体と、前記基体に連結される複数本のリンクからなる脚式移動ロボットの姿勢制御装置において、

- a. 前記ロボットの少なくとも前記基体の目標位置を含む運動パターンを設定する目標歩容設定手段、
- b. 前記リンクを介して前記ロボットに作用する、作業対象物からの反力を検出する対象物反力検出手段、
- c. 前記検出された対象物反力を所定の点まわりのモーメントとして変換する対象物反力モーメント変換手段、
- d. 前記変換された対象物反力モーメントに動力学的につりあうように、前記所定の点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置および姿勢を修正するロボット位置・姿勢修正手段、および
- e. 前記修正された所定の点まわりの床反力モーメント

と前記ロボットの位置・姿勢に基づいて前記ロボットの関節を変位させる関節変位手段、を備えたことを特徴とする脚式移動ロボットの姿勢制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、脚式移動ロボットの姿勢制御装置に関し、より詳しくは脚式移動ロボット、特に2足歩行の脚式移動ロボットにおいて予期せぬ対象物反力を受けても動的バランスをとって姿勢の安定性を保つことができるようとしたものに関し、特に腕を備える脚式移動ロボットの腕と脚の脚腕協調制御としての応用が有効である。

【0002】尚、この明細書で『対象物反力』は作業対象を含む環境から受ける外力で、ロボットに接地面から作用する床反力を除いたものを指称する意味で使用する。

【0003】

【従来の技術】脚式移動ロボット、特に2足歩行の脚式移動ロボットで腕を備えたものとしては、「上体運動により3軸モーメントを補償する2足歩行ロボットの開発」（日本ロボット学会誌11巻第4号、1993年5月）が知られている。このロボットは単純化された腕としての振り子を備え、これを振ることによって発生する重力と慣性力も含めて目標歩容を予め設計しておき、それに追従するように歩行制御する。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、この従来技術においては腕は対象物反力を受けないことが前提となっている。従って、そこで提案されている制御を歩行だけではなく、作業にも適用したとき、作業対象から予期せぬ反作用を受けると動バランスを崩し、姿勢が不安定になったり、最悪の場合には転倒する恐れがあった。

【0005】また、本出願人も特開平7-205069号公報で同種の脚式移動ロボットを提案しており、そこにおいては歩行時に摩擦力が低下したとき腕を振らせて安定な姿勢を回復するようにしている。

【0006】しかしながら、本出願人が提案した脚式移動ロボットにおいては、脚と腕が協調せずに独立して別々に制御されているため、腕を駆動すると、腕が発生する重力と慣性力、および作業対象からの反作用によってロボット全体の動バランスが崩れ、却ってロボットの姿勢が不安定になる場合があった。

【0007】従って、この発明の目的は上記した不都合を解消することにあり、脚式移動ロボットが予期できない対象物反力を受けても、動バランスをとって安定な姿勢を継続できるようにした脚式移動ロボットの姿勢制御装置を提供することにある。

【0008】この発明の第2の目的は、対象物反力が急変するときも、それに静的にバランスする位置にロボッ

トの重心を移動させることにより、傾きや転倒を効果的に抑制するようにした脚式移動ロボットの姿勢制御装置を提供することにある。

【0009】この発明の第3の目的は、上記した対象物反力を受けたとき、ロボットの重心が移動する過渡期においても、重心位置や床反力を適正に変化させて動バランスを維持し続けられるようにした脚式移動ロボットの姿勢制御装置を提供することにある。

【0010】この発明の第4の目的は、脚式移動ロボットで腕を備えるものにおいて、予め想定していなかった動作パターンで腕を動かして作業をするときに腕に発生する重力、慣性力だけでなく、作業対象から予期せぬ反作用を受けても、動バランスをとって安定な姿勢を継続できるようにした脚式移動ロボットの姿勢制御装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、請求項1項にあっては、少なくとも基体と、前記基体に連結される複数本のリンクからなる脚式移動ロボットの姿勢制御装置において、前記ロボットの少なくとも前記基体の目標軌跡を含む運動パターンと、前記ロボットに作用する床反力の目標軌跡と、前記ロボットに作用する床反力以外の外力の目標軌跡とを少なくとも含む、前記ロボットの目標歩容を設定する目標歩容設定手段、前記床反力以外の外力を検出する外力検出手段、前記検出された外力と、前記目標軌跡で設定された床反力以外の外力の偏差を演算する外力偏差演算手段、前記床反力の揺動と前記ロボットの重心位置および／または基体の位置の揺動の関係を表現するモデル、少なくとも前記演算された外力の偏差に基づいて前記モデルに入力すべきモデル入力量を演算するモデル入力量演算手段、前記演算されたモデル入力量を前記モデルに入力し、得られる前記重心位置および／または基体の揺動量に応じて前記基体の目標軌跡を修正する、基体目標軌跡修正量を演算する基体目標軌跡修正量演算手段、少なくとも前記演算されたモデル入力量に応じて前記床反力の目標軌跡を修正する、床反力目標軌跡修正量を演算する床反力目標軌跡修正量演算手段、および、少なくとも前記演算された基体目標軌跡修正量および床反力目標軌跡修正量に基づいて前記ロボットの関節を変位させる関節変位手段、を備える如く構成した。

【0012】ここで『位置』は、重心位置を除き、『位置および／または姿勢』を含む意味で使用する。尚、『姿勢』は後述の如く3次元空間における向きを意味する。

【0013】ここで、『床反力の目標軌跡』とは、より具体的には、少なくとも床反力中心点の目標軌跡を含む意味で使用する。また『前記床反力の目標軌跡を修正する』とはより具体的には、床反力中心点まわりのモーメントを修正する意味で使用する。

【0014】ここで、『外力を検出する』とは、検出のみならず外乱オブザーバなどを使用して推定することも含む意味で使用する。

【0015】請求項2項にあっては、前記モデル入力量演算手段は、前記外力に静的に平衡する平衡重心位置の摂動量を算出する平衡重心位置摂動量算出手段、を備え、前記算出された平衡重心位置に前記モデルが収束するように前記モデル入力量を演算する如く構成した。

【0016】請求項3項にあっては、前記モデルが前記ロボットを倒立振子で近似するモデルである如く構成した。

【0017】請求項4項にあっては、前記平衡重心位置摂動量算出手段は、前記算出された平衡重心位置の摂動量を所定の範囲に制限するリミッタ、を備える如く構成した。

【0018】請求項5項にあっては、前記床反力目標軌跡修正量演算手段は、前記演算された床反力目標軌跡修正量を所定の範囲に制限するリミッタ、を備える如く構成した。

【0019】請求項6項にあっては、前記床反力の目標軌跡は、前記ロボットに作用する床反力の目標中心点の軌跡を少なくとも含む如く構成した。

【0020】請求項7項にあっては、前記床反力目標軌跡修正量演算手段は、前記床反力目標軌跡修正量が、前記モデル入力量から前記外力の偏差を減算した値と、前記床反力の目標中心点まわりに作用するモーメントに動力学的に釣り合うように、前記床反力目標軌跡修正量を演算する如く構成した。

【0021】請求項8項にあっては、前記床反力以外の外力が、前記リンクを介して前記ロボットに作用する作業対象物からの反力である如く構成した。

【0022】請求項9項にあっては、前記ロボットが、前記基体に連結される2本の脚リンクと2本の腕リンクからなる脚式移動ロボットである如く構成した。

【0023】請求項10項にあっては、少なくとも基体と、前記基体に連結される複数本のリンクからなる脚式移動ロボットの姿勢制御装置において、前記ロボットの少なくとも前記基体の目標位置を含む運動パターンと、前記ロボットに作用する床反力の目標中心点の軌跡を少なくとも含む、前記ロボットの目標歩容を設定する目標歩容設定手段、前記リンクを介して前記ロボットに作用する、作業対象物からの反力を検出する対象物反力検出手段、前記検出された対象物反力を前記目標床反力中心点まわりのモーメントとして変換する対象物反力モーメント変換手段、前記変換された対象物反力モーメントに動力学的に釣り合うように、前記目標中心点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置および姿勢を修正するロボット位置・姿勢修正手段、および前記修正された目標中心点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置・姿勢に基づいて前記ロボットの関節を変位させ

る関節変位手段、を備える如く構成した。

【0024】請求項11項にあっては、少なくとも基体と、前記基体に連結される複数本のリンクからなる脚式移動ロボットの姿勢制御装置において、前記ロボットの少なくとも前記基体の目標位置を含む運動パターンを設定する目標歩容設定手段、前記リンクを介して前記ロボットに作用する、作業対象物からの反力を検出する対象物反力検出手段、前記検出された対象物反力を所定の点まわりのモーメントとして変換する対象物反力モーメント変換手段、前記変換された対象物反力モーメントに動力学的に釣り合うように、前記所定の点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置および姿勢を修正するロボット位置・姿勢修正手段、および前記修正された所定の点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置・姿勢に基づいて前記ロボットの関節を変位させる関節変位手段、を備える如く構成した。

【0025】上記で、『脚式移動ロボット』は腕以外に対象物反力を受ける脚式移動ロボットを含む。また、『腕リンク』に関しては、脚リンクであっても、それが作業対象物に作用するものであれば、腕リンクとみなすものとする。例えば、昆虫型の6脚ロボットにおいて、前の2脚を用いて物を持ち上げる場合には、その脚リンクは腕リンクとみなすこととする。

【0026】

【作用】請求項1項においては、脚式移動ロボットが予期できない外力、より具体的には作業対象物から反力を受けても、動バランスをとって安定な姿勢を継続することができる。更に、予め想定していなかった運動パターンでリンク、より具体的には腕を動かして作業をするときに腕に発生する重力、慣性力だけでなく、作業対象から予期せぬ反作用を受けても、動バランスをとて安定な姿勢を継続することができる。

【0027】また、対象物反力が急変するときも、それに静的にバランスする位置にロボットの重心を移動させることにより、傾きや転倒を効果的に抑制することができる。また、ロボットの重心が移動する過渡期においても、重心位置や床反力を適正に変化させて動バランスを維持し続けることができる。

【0028】請求項2項ないし8項においても、請求項1項と同様の作用、効果を有する。

【0029】請求項9項にあっては、上記した作用、効果に加えて、脚式移動ロボットで腕を備えるものにおいても、予め想定していなかった動作パターンで腕を動かして作業をするときに腕に発生する重力、慣性力だけでなく、作業対象から予期せぬ反作用を受けても、動バランスをとて安定な姿勢を継続することができる。

【0030】請求項10項ないし11項においても、請求項1項と同様の作用、効果を有する。

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照してこの発明に係る脚式移動ロボットの姿勢制御装置を説明する。

尚、脚式移動ロボットとしては2足歩行ロボットを例にとる。

【0031】図1はその脚式移動ロボットの姿勢制御装置を全体的に示す概略図である。

【0032】図示の如く、2足歩行ロボット1は左右それぞれの脚リンク2に6個の関節を備える（理解の便宜のために各関節をそれを駆動する電動モータで示す）。

【0033】6個の関節は上から順に、腰部の脚回旋用の関節10R, 10L（右側をR、左側をLとする。以下同じ）、腰部のロール軸（Y軸まわり）の関節12R, 12L、同ピッチ軸（X軸まわり）の関節14R, 14L、膝部のロール軸の関節16R, 16L、足部のロール方向の関節18R, 18L、および同ピッチ軸の関節20R, 20Lから構成される。足部には足平22R, 22Lが取着される。

【0034】上記において股関節（あるいは腰関節）は関節10R(L), 12R(L), 14R(L)から、足関節は関節18R(L), 20R(L)から構成される。また股関節と膝関節とは大腿リンク24R, 24L、膝関節と足関節とは下腿リンク26R, 26Lで連結される。

【0035】更に、腰部の上位には上体（あるいは基体。リンクで示す）28が設けられると共に、その上端には左右それぞれの7個の関節からなる腕リンク3を備える（同様に、理解の便宜のために各関節をそれを駆動する電動モータで示す）。

【0036】7個の関節は上から順に、肩部のロール軸の関節30R, 30L、同ピッチ軸の関節32R, 32L、腕の回旋用の関節34R, 34L、肘部のロール軸の関節36R, 36L、手首回旋用の関節38R, 38L、同ロール軸の関節40R, 40L、および同ピッチ軸の関節42R, 42Lから構成される。手首の先にはハンド（エンドエフェクタ）44R, 44Lが取着される。

【0037】上記において肩関節は関節30R(L), 32R(L), 34R(L)から、手首関節は関節38R(L), 40R(L), 42R(L)から構成される。また肩関節と肘関節とは上腕リンク46R, 46L、肘関節と手首関節とは下腕リンク48R, 48Lで連結される。

【0038】尚、上体（基体）28の内部には、図2に関して後述するマイクロコンピュータからなる制御ユニット50などが格納される。

【0039】上記の構成により、脚リンク2は左右の足についてそれぞれ6つの自由度を与えられ、歩行中にこれららの $6 * 2 = 12$ 個の関節を適宜な角度で駆動することで、足全体に所望の動きを与えることができ、任意に3次元空間を歩行させることができる（この明細書で「*」は乗算を示す）。尚、前記の如く、ロボットの進行方向（ピッチ軸）をX軸、左右方向（ロール軸）をY

軸、鉛直方向（重力軸）をZ軸とする。

【0040】また、腕リンク3は左右の腕についてそれぞれ7つの自由度を与えられ、これらの $7 * 2 = 14$ 個の関節を適宜な角度で駆動することで、後述する台車を押すなどの所望の作業を行うことができる。

【0041】図1に示す如く、足関節の下方の足平22R(L)には公知の6軸力センサ56が取着され、ロボットに作用する外力の内、接地面からロボットに作用する床反力の3方向成分F_x, F_y, F_zとモーメントの3方向成分M_x, M_y, M_zとを検出する。

【0042】更に、手首関節とハンド44R(L)の間には同種の6軸力センサ58が取着され、ロボットに作用するそれ以外の外力、特に作業対象物から受ける前記した対象物反力の3方向成分F_x, F_y, F_zとモーメントの3方向成分M_x, M_y, M_zとを検出する。

【0043】また、上体28には傾斜センサ60が設置され、Z軸（鉛直軸（重力軸））に対する傾きとその角速度を検出する。また各関節の電動モータはその出力を減速・増力する減速機（図示せず）を介して前記したリンク24, 26R(L)などを相対変位させると共に、その回転量を検出するロータリエンコーダが設けられて変位検出器付の脚アクチュエータあるいは腕アクチュエータとして構成される。これら6軸力センサ56などの出力は制御ユニット50に送られる（図示の便宜のためロボット1の右側についてのみ図示する）。

【0044】図2は制御ユニット50の詳細を示すブロック図であり、マイクロ・コンピュータから構成される。そこにおいて傾斜センサ60などの出力はA/D変換器70でデジタル値に変換され、その出力はバス72を介してRAM74に送られる。また各アクチュエータにおいて電動モータに隣接して配置されるエンコーダの出力は、カウンタ76を介してRAM74に入力される。

【0045】制御ユニット内にはCPUからなる演算装置80が設けられており、演算装置80は後述の如く、ROM84に格納されている歩容に基づいてロボットが安定な姿勢を継続することができるよう、関節角変位指令（アクチュエータ変位指令）を算出し、RAM74に送出する。

【0046】また演算装置80はRAM74からその指令と検出された実測値とを読み出し、各関節の駆動に必要な制御値（操作量）を算出してD/A変換器86と各関節に設けられたアクチュエータ駆動装置（アンプ）88を介して各関節を駆動する脚アクチュエータと腕アクチュエータの電動モータに出力する。

【0047】図3は、この発明に係る脚式移動ロボットの姿勢制御装置（主として前記した演算装置80に相当）の構成および動作を機能的に示すブロック図である。

【0048】この装置は脚および腕の動作を統合的に制

御する装置であり、各アクチュエータ駆動装置88に対する変位指令を出力する。図示の如く、この装置は、目標作業パターン生成器、対象物反力平衡制御装置、脚メイン制御装置、および腕メイン制御装置から構成される。

【0049】以下に、理解の便宜のため、図4に示すロボット作業状況を例に挙げて、この装置の各構成要素の処理内容を説明する。図4では、ロボット1が台車100を押しているとき、台車から受ける実対象物反力の絶対値が目標作業パターンにおいて想定していた目標対象物反力よりも突然小さくなってしまったため、このずれによってロボット1はバランスを崩し、前に傾きかけている状況とする。この実施の形態に係る装置は、このような状況においても常に動バランスを維持するように制御するものである。

【0050】目標作業パターン生成器は、ある想定条件下において動力学的平衡条件を満足する目標作業パターンを生成する。目標作業パターンは、複数の変数の時間変化パターンによって表現される。この変数は、運動を表現する変数と環境から受ける反力を表現する変数から構成される。

【0051】ここで、運動を表現する変数は、これによって各瞬間ににおける姿勢が一義的に決定できる変数の組である。具体的には、目標足平位置・姿勢、目標上体位置・姿勢、目標ハンド位置・姿勢から構成される。

【0052】また、環境から受ける反力を表現する変数は、目標全床反力中心点（位置）（目標ZMP（位置））、目標全床反力および目標対象物反力から構成される。

【0053】これら各変数は、支持脚座標系で表される。支持脚座標系は、支持脚足首（関節18, 20R（L）の交点）から足平22R（L）への垂直投影点を原点とする座標系であり、図5および図6に示すように、支持脚が接触している床に固定された座標系であり、支持脚足平の前向きをX軸の向き、左向きをY軸の向き、鉛直方向上向きをZ軸向きとする座標系である。

【0054】以下に、これら各変数について詳細を説明する。

【0055】前記の如く、ロボットが環境から受ける外力の内で、各足平床反力を除いた外力を対象物反力と呼ぶとき、目標対象物反力はその目標値である。図4の例ではハンド44R（L）が対象物100から受ける反のことである。

【0056】目標作業パターン生成器が出力する目標対象物反力は、後述する目標全床反力中心点まわりに作用する力とモーメントによって表現される。ちなみに、姿勢安定化にとって重要なのは、このうちのモーメント成分である。

【0057】目標全床反力と目標全床反力中心点（位置）について説明すると、作業中において各足平が床か

ら受けるべき目標床反力の合力を、広義の目標全床反力と呼ぶ。広義の目標全床反力は、目標全床反力中心点とその点における力とモーメントで表現される。目標全床反力中心点は、目標全床反力をその点を作用点とする力とモーメントで表現したとき、X軸まわりモーメント成分とY軸まわりモーメント成分が0になる床面上の点である。

【0058】狭義の目標全床反力は、広義の目標全床反力を、目標全床反力中心点を作用点として、力とモーメントで表現した場合の力とモーメントを意味する。目標作業パターン生成器が出力する目標全床反力は、狭義の目標全床反力である。

【0059】以降は特に説明がない限り、目標全床反力は、狭義の目標全床反力を指す。尚、平坦な床面を歩行する場合には、目標全床反力の作用点は、通常、その床面上に設定される。

【0060】歩行制御の分野において従来から公知であるZMPの概念も、概念を次のように拡張する。即ち、ロボットの運動によって生じる慣性力と重力と対象物反力の合力が、その点を作用点とする力とモーメントで表現されたとき、X軸まわりモーメント成分とY軸まわりモーメント成分が0になる床面上の点を、ZMPと呼ぶ。ロボットが目標の運動を行う時のZMPを目標ZMP（位置）と呼ぶ。

【0061】目標作業パターンが動力学的平衡条件を満足すると言うことは、目標作業パターンによって生じる上記の慣性力と重力と対象物反力の合力と目標全床反力が、打ち消し合って0になることである。従って、動力学的平衡条件を満足するためには、目標全床反力中心点と目標ZMPが一致しなければならない。

【0062】目標作業パターン生成器では、動力学的平衡条件を満足する目標作業パターンを生成する。従つて、目標作業パターン生成器が生成する目標全床反力中心点（位置）は目標ZMP（位置）に一致する。

【0063】目標足平位置・姿勢、目標上体位置・姿勢、目標ハンド位置・姿勢は、前記した支持脚座標系で表現されたそれぞれの部位の位置と姿勢を表す。具体的にはこの明細書で、上体28の位置およびその速度は、上体28の重心位置などの代表点およびその（変位）速度を意味する。更に、上体あるいは足平の姿勢は、X、Y、Z空間における『向き』を意味する。

【0064】対象物反力平衡制御装置およびその制御はこの実施の形態の制御の中心をなすもので、対象物反力平衡制御装置は姿勢バランスをとるために動力学的平衡条件を考慮しながら制御を行う。そこで、対象物反力平衡制御装置の概要を説明する前に、動力学的平衡条件について以下に説明する。

【0065】実際のロボットの姿勢傾きの挙動を決定する最も大きな要因は、目標全床反力中心点（即ち、目標ZMP）まわりでの実際の力のモーメントのバランスで

ある。

【0066】目標全床反力中心点まわりに作用する力のモーメントを以下に列挙する。

- 1) 慣性力モーメント
- 2) 重力モーメント
- 3) 全床反力モーメント
- 4) 対象物反力モーメント

【0067】以上のモーメントは先にも説明したが、改めて以下に定義する。

【0068】慣性力モーメントは、目標全床反力中心点まわりのロボットの角運動量の変化によって生じるモーメントである。この値はオイラー方程式によって求められ、具体的には目標全床反力中心点まわりのロボットの角運動量の1階微分値の符号を反転させたものである。

【0069】目標作業パターンの慣性力モーメントを、目標慣性力モーメントと呼ぶ。実際のロボットが作業しているときの慣性力モーメントを実慣性力モーメントと呼ぶ。

【0070】重力モーメントは、ロボットの重心に作用する重力が目標全床反力中心点まわりに作用するモーメントである。

【0071】各足平に作用する床反力の合力を、全床反力と呼ぶ。全床反力モーメントは、全床反力が目標全床反力中心点まわりに作用するモーメントである。

【0072】作業対象物から受ける反力を、対象物反力と呼ぶ。対象物反力モーメントは、作業対象物反力が目標全床反力中心点まわりに作用するモーメントである。

【0073】さて、理想的な脚メイン制御装置によって、ロボット1が目標作業パターンの運動パターンに忠実に追従していたと仮定する。このときには実慣性力モーメントは目標慣性力モーメントに一致し、実重力モーメントは目標重力モーメントに一致する。

【0074】一方、動力学の法則（オイラー方程式）により、必ず実慣性力モーメントと実重力モーメントと実全床反力モーメントと実対象物反力モーメントの和は、0である。

【0075】故に、ロボット1が忠実に目標作業パターンの運動パターン通りに動くためには、目標慣性力モーメントと目標重力モーメントと実全床反力モーメントと実対象物反力モーメントの和が0でなければならない。これを条件1とする。

【0076】ところが、実際には、実対象物反力モーメントが目標対象物反力モーメントと一致せず差が生じる。例えば、図4に関して述べたように、台車を押す作業を行っているときに台車（すなわち目標対象物）の実際のころがり摩擦力の絶対値が想定していた値よりも突然小さくなってしまった状況である。

【0077】この図の状況では、実対象物反力が目標全床反力中心点のY軸まわりに作用するモーメントは、目標対象物反力が目標全床反力中心点のY軸まわりに作用

するモーメントよりも正の向きに大きくなつて条件1を満たさなくなり、ロボット1は前傾する。尚、モーメントの向きは、座標軸の正方向に向いてロボット1を時計まわりに回転させるモーメントを正とする。

【0078】このような状況においても条件1を満足させるためには、次の2通りの手法が考えられる。

【0079】手法1）上記偏差を打ち消すように、実全床反力モーメントを変える。具体的には、目標全床反力中心点まわりに負の床反力モーメントを発生するように脚メイン制御装置に指令し、脚メイン制御装置において、この指令を受けて、足平22R(L)のつまさきを下げ、実全床反力モーメントを負の向きに増加させる。即ち、足で踏ん張るような姿勢をとらせる。

【0080】手法2）上記偏差を打ち消すように、目標作業パターンの運動パターンを修正することにより、目標慣性力モーメントと目標重力モーメントを修正する。具体的には、目標上体位置および／または姿勢を修正することによって、目標慣性力モーメントと目標重力モーメントを修正する。即ち、上体を前に移動させる。

【0081】この実施の形態に係る装置では両方の手法を同時に用い、短期的には手法1を主に使うことによって速い変化に対応し、長期的には手法2を主に使うことによって実全床反力モーメントを元の目標全床反力モーメントに収束させながら、常に動バランスを維持するようにした。

【0082】実全床反力モーメントは、目標全床反力モーメントを変えるだけで脚メイン制御装置によってすぐやく変化させることができるので、手法1は短期的な対応に向いている。但し、実全床反力モーメントを大きく変化させると、足平22R(L)の接地圧分布が偏って接地感が減少し、最悪の場合には足平22R(L)の一部が浮いてしまう。従って、長期的には、なるべく元の目標全床反力モーメントに戻すべきである。

【0083】実全床反力モーメントを元の目標全床反力モーメントに戻すためには、重心位置をずらし、目標重力モーメントによって上記偏差を打ち消すように、手法2によって目標作業パターンの運動パターンを修正すれば良い。但し、重心位置を急激にずらすと、過大な目標慣性力モーメントが逆向きに発生するので、ゆっくりと重心位置をずらす必要がある。従って、手法2は長期的な対応に向いている。

【0084】上記を前提として対象物反力平衡制御装置について説明する。対象物反力平衡制御装置は、上記の制御機能を持った装置である。

【0085】対象物反力平衡制御装置の入力は、目標上体位置・姿勢、目標全床反力中心点（位置）、目標対象物反力、6軸センサ58の検出値、最終修正目標ハンド位置・姿勢、最終修正目標上体位置・姿勢、最終修正目標足平位置・姿勢である（尚、近似演算を用いる場合は、最終修正目標ハンド位置・姿勢、最終修正目標上体

位置・姿勢、最終修正目標足平位置・姿勢は不要である)。

【0086】対象物反力平衡制御装置では、上記の制御機能を実現するために、目標対象物反力を実対象物反力の検出値に置き換え、それに動力学的に平衡するように目標上体位置・姿勢と目標全床反力を修正する。これにより修正された作業パターンが想定している対象物反力(即ち、修正された目標対象物反力)と実対象物反力が一致し、ロボットの動力学的平衡条件が満足される。

【0087】対象物反力平衡制御装置の出力は、修正目標上体位置・姿勢と対象物反力平衡制御用補償全床反力である。

【0088】修正目標上体位置・姿勢は、対象物反力平衡制御装置によって修正された目標上体位置・姿勢である。対象物反力平衡制御用補償全床反力は、目標全床反力中心点(位置)に、修正によって加えられる全床反力である。尚、対象物反力平衡制御用補償全床反力の成分の内で、姿勢安定化のため特に重要な成分は、X軸まわりモーメント成分とY軸まわりモーメント成分である。

【0089】対象物反力平衡制御装置の出力の挙動だけを述べると、実対象物反力と目標対象物反力の偏差、より正確には両者のモーメントの偏差が急変、即ち、図7に示すようにステップ状に変化する場合には、動力学平衡条件を満足するために、最初は対象物反力平衡制御用の補償全床反力のモーメント成分が、この差に応じてしばらく応答する。

【0090】その後しばらくすると、修正目標上体位置・姿勢が、この偏差に静的に釣り合う位置・姿勢に整定し、対象物反力平衡制御用補償全床反力のモーメント成分は0に収束する。尚、対象物反力平衡制御装置の構成とアルゴリズム説明は後述する。

【0091】図3において、脚メイン制御装置に入力される目標値は、修正目標上体位置・姿勢、目標足平位置・姿勢、目標全床反力中心点(位置)とその点に作用する目標全床反力と対象物反力平衡制御用補償全床反力である。

【0092】脚メイン制御装置の機能は、簡単に言うならば、脚のアクチュエータ(関節10R(L)などの電動モータおよびエンコーダ)を操作し、目標姿勢に追従する姿勢安定化制御と目標床反力に追従する床反力制御を同時に実行する装置である。尚、目標姿勢と目標床反力を同時に完全に満足させることは不可能であるので、適当な調整が行われ、長期的には両方を満足するように制御される。

【0093】より詳しくは、傾斜センサ60によって検出された実上体位置・姿勢を修正目標上体位置・姿勢に復元させるために、目標全床反力中心点に発生させるべき復元全床反力を算出し、目標全床反力中心点に作用する実全床反力のモーメント成分が、この復元全床反力と

目標全床反力と対象物反力平衡制御用補償全床反力の合力のモーメント成分に一致するように、足平22R(L)を回転あるいは上下動させるべく目標足平位置・姿勢を修正する。修正された目標足平位置・姿勢を最終修正目標足平位置・姿勢と呼ぶ。

【0094】従って、傾斜センサ60によって検出される実上体位置・姿勢とその変化率が、修正目標上体位置・姿勢とその変化率に一致しているならば、目標全床反力中心点位置に作用する実全床反力のモーメント成分が目標全床反力と対象物反力平衡制御用補償全床反力の合力のモーメント成分に一致するように目標足平位置・姿勢を修正する。

【0095】脚メイン制御装置は、さらに、修正目標上体位置・姿勢と修正目標足平位置・姿勢から決定される目標脚関節変位に実関節変位が追従するように脚アクチュエータを制御する。

【0096】脚メイン制御系は脚メイン制御装置、および前記した傾斜センサ60、足平22R(L)に設けた6軸力センサ56、アクチュエータ駆動装置88およびアクチュエータ(関節10R(L)ないし20R(L)用電動モータおよびエンコーダ)から構成される。

【0097】脚メイン制御装置で修正された目標足平位置・姿勢は、最終修正目標足平位置・姿勢として対象物反力平衡制御装置に送られる。但し、対象物反力平衡制御装置において、目標足平位置・姿勢が修正されたことによるロボットの重心位置の変化が無視できるならば、最終修正目標足平位置・姿勢を対象物反力平衡制御装置に送る必要はない。

【0098】図3において、腕メイン制御装置に入力される目標値は、修正目標上体位置・姿勢、目標ハンド位置・姿勢および目標対象物反力である。

【0099】腕メイン制御装置の機能は簡単に言うならば、腕のアクチュエータ(関節30R(L)などの電動モータ、エンコーダ他)を操作して、目標姿勢に追従する姿勢制御と目標対象物反力に追従する対象物反力制御を同時に実行することである。目標姿勢と目標対象物反力を同時に完全に満足することは不可能であるので、適宜な手法、例えば、従来からマニピュレータのコンプライアンス制御、いわゆる仮想コンプライアンス制御として知られるものを用いる(機械工学便覧、エンジニアリング編、C4-100頁)。

【0100】具体的な制御系構成とアルゴリズムを以下に説明すると、腕メイン制御系は腕メイン制御装置、および前記したハンド44(L)に設けた6軸力センサ58、アクチュエータ駆動装置88および腕アクチュエータ(関節30R(L)ないし42R(L)用電動モータおよびエンコーダ)から構成される。

【0101】腕メイン制御装置は、6軸力センサ58によって検出される実対象物反力と目標対象物反力の差に応じて目標ハンド位置・姿勢を修正する。修正された目

標ハンド位置・姿勢を、最終修正目標ハンド位置・姿勢と呼ぶ。腕メイン制御装置は、修正目標上体位置・姿勢と最終修正目標ハンド位置・姿勢から決定される目標腕関節変位に実関節変位が追従するように腕アクチュエータを制御する。

【0102】ここで、対象物反力平衡制御装置の詳細を説明する。

【0103】図8は対象物反力平衡制御装置の制御構成図の前半部分を、図9は対象物反力平衡制御装置の制御構成図の後半部分を示す機能ブロック図である。

【0104】図8を参照して前半部分の処理から説明する。

【0105】先ず、実際のハンド44R(L)は、腕メイン制御装置によって、ほぼ、最終修正目標ハンド位置・姿勢にあると考えられるので、6軸センサ58によって検出された実対象物反力を、修正目標ハンド位置・姿勢によって支持脚座標系の原点まわりの力とモーメントに変換する(実関節変位からキネマティクス演算によって、実ハンド位置・姿勢を求めて、これを用いて実対象物反力を変換しても良い)。

【0106】次に、変換された実対象物反力を、目標全床反力中心点まわりの力とモーメントに変換することにより、目標全床反力中心点まわりの実対象物反力モーメントを得る。最後に、これから目標全床反力中心点まわりの目標対象物反力モーメントを引くことにより、目標全床反力中心点まわりの対象物反力モーメント偏差を得る。

【0107】次に図9を参照して対象物反力平衡制御装置の後半部分の処理を説明する。

【0108】先ず、そこで用いる摂動力学モデルについて説明する。

$$\begin{aligned}\Delta MG_x &= -\Delta y G * mg \\ \Delta MG_y &= \Delta x G * mg\end{aligned}$$

【0112】ロボットの運動摂動に関する重心まわりの等価慣性モーメントが十分小さく無視できるならば、次

$$\begin{aligned}\Delta L_x &= -mh * d(\Delta y G) / dt \\ \Delta L_y &= mh * d(\Delta x G) / dt\end{aligned}$$

【0113】オイラー方程式により、次式が導かれる。

$$\begin{aligned}d(\Delta L_x) / dt &= \Delta MG_x + \Delta M_x \\ d(\Delta L_y) / dt &= \Delta MG_y + \Delta M_y\end{aligned}$$

・・・式1

式が導かれる。

・・・式2

・・・式3

【0114】式1、式2および式3より、摂動力学モ

$$\begin{aligned}mh * d(d(\Delta x G) / dt) / dt &= \Delta x G * mg + \Delta M_x \\ mh * d(d(\Delta y G) / dt) / dt &= \Delta y G * mg - \Delta M_y\end{aligned}$$

・・・式4

【0115】ところで、目標重心位置摂動量と目標上体位置摂動量は、ほぼ比例関係にあると考えられる。従つ

$$\Delta x_b = k * \Delta x G$$

【0109】摂動力学モデルは、目標作業パターンの運動(摂動)にある拘束条件を与えておいた場合の、目標全床反力モーメント摂動量と上体位置・姿勢摂動量との関係を表すモデルである。以下に、例として、図10に示すようにロボットの上体姿勢を目標上体姿勢に一致させたまま、上体の水平位置を摂動するモデルを説明する。

【0110】ここで、以下のように記号をとりきめる。

m : ロボット全質量

g : 重力加速度

h : 目標全床反力中心点からの重心高さ

$\Delta x G$: 目標重心位置摂動量のX成分

$\Delta y G$: 目標重心位置摂動量のY成分

Δx_b : 目標上体位置摂動量のX成分

Δy_b : 目標上体位置摂動量のY成分

ΔM_x : 目標全床反力中心点まわりの目標全床反力モーメント摂動量のX成分

ΔM_y : 目標全床反力中心点まわりの目標全床反力モーメント摂動量のY成分

ΔMG_x : 目標全床反力中心点まわりの目標重力モーメント摂動量のX成分

ΔMG_y : 目標全床反力中心点まわりの目標重力モーメント摂動量のY成分

ΔL_x : 目標全床反力中心点まわりの目標角運動量の摂動量のX成分

ΔL_y : 目標全床反力中心点まわりの目標角運動量の摂動量のY成分

$d(a) / dt$: 变数aの時間微分

$d(d(a) / dt) / dt$: 变数aの時間2階微分

【0111】重力モーメントの定義から、次式が導かれる。

デルの運動方程式として、次式を得ることができる。

て、比例定数をkとすると、次式により目標上体位置摂動量が得られる。

$$\Delta y b = k * \Delta y G$$

【0116】以上から、摂動力学モデルは、式4と式5を用い、目標重心位置摂動量と目標上体位置摂動量を算出する。詳しくはこの装置の如く、デジタル演算の場合には、式4は離散化して使用する。ちなみに、式4は、図11に示す、高さh、質量mの倒立振子の運動方程式に一致する。

【0117】図9に示す対象物反力平衡制御装置後半部において、前記した目標全床反力中心点まわりの対象物反力モーメント偏差は、最終到達目標重心位置摂動量算出部に入力される。

【0118】この目標全床反力中心点まわりの対象物反力モーメント偏差を長期的に打ち消してバランスをとるために重心位置摂動量を最終到達目標重心位置摂動量と呼ぶ。最終到達目標重心位置摂動量算出部は、上記偏差か

$$\Delta MG_{ox} = -\Delta Mo_x$$

$$\Delta MG_{oy} = -\Delta Mo_y$$

【0121】最終到達目標重心位置摂動量によって発生

$$\Delta MG_{ox} = -mg * \Delta y Ge$$

$$\Delta MG_{oy} = mg * \Delta x Ge$$

【0122】式6、式7より次式を得る。

$$\Delta x Ge = -\Delta Mo_y / mg$$

$$\Delta y Ge = \Delta Mo_x / mg$$

【0123】故に、最終到達目標重心位置摂動量は、式8によって算出すれば良い。

【0124】対象物反力平衡制御装置のモデル制御則演算器について説明すると、最終到達目標重心位置摂動量と摂動力学モデルが output する目標重心位置摂動量との差を、重心変位偏差と呼ぶ。モデル制御則演算器は、こ

対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメント = $K_p * \text{重心変位偏差}$

$$+ K_d * \text{重心変位偏差の微分値}$$

・・・式10

ここで、 K_p は比例ゲイン、 K_d は微分ゲインである。
【0126】モデル制御則演算器の出力直後の加算点について説明すると、モデル制御則演算器の出力直後の加算点によって、摂動力学モデルには、対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントと、目標全床反力中心点まわりの対象物反力モーメント偏差の和が、モデルのための目標全床反力モーメント摂動量（モデル入力量）として入力され、その入力に対応する目標上体位置・姿勢

$$\begin{aligned} & \text{目標慣性力モーメント摂動量} + \text{目標重力モーメント摂動量} \\ & + \text{対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメント} + \text{対象物反力モーメント偏差} = 0 \end{aligned}$$

【0129】一方、脚メイン制御装置には、目標全床反力中心点まわりに対象物反力平衡制御用補償全床反力モ

・・・式5

ら最終到達目標重心位置摂動量を算出する。

【0119】ここで、

ΔMo_x ：対象物反力モーメント偏差のX成分

ΔMo_y ：対象物反力モーメント偏差のY成分

ΔMG_{ox} ：最終到達目標重心位置摂動量によって発生する重力モーメントのX成分

ΔMG_{oy} ：最終到達目標重心位置摂動量によって発生する重力モーメントのY成分

$\Delta x Ge$ ：最終到達目標重心位置摂動量のX成分

$\Delta y Ge$ ：最終到達目標重心位置摂動量のY成分とする。

【0120】対象物反力モーメント偏差を最終到達目標重心位置摂動量によって発生する重力モーメントによって打ち消すためには、次式を満足する必要がある。

・・・式6

する重力モーメントは、次式のようになる。

・・・式7

・・・式8

の重心変位偏差を0に収束させるための制御を行う。出力は、対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントである。

【0125】具体的には、次式のような、PD制御則によって、対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントを決定すれば良い。

対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメント = $K_p * \text{重心変位偏差}$

$$+ K_d * \text{重心変位偏差の微分値}$$

摂動量が算出される。これが目標上体位置・姿勢に加算され、修正目標上体位置・姿勢が作られる。

【0127】ところで、摂動力学モデルは力学的平衡条件を満たすので、モデル出力である目標上体位置・姿勢摂動量によって発生する目標慣性力モーメント摂動量および目標重力モーメント摂動量と、モデル入力との和は0である。

【0128】故に、次式が成立する。

$$\begin{aligned} & \text{目標慣性力モーメント摂動量} + \text{目標重力モーメント摂動量} \\ & + \text{対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメント} + \text{対象物反力モーメント偏差} = 0 \end{aligned}$$

・・・式11

メントを附加的に発生するように指令が送られる。即ち、実全床反力モーメントに、実全床反力モーメント摂

動量として、対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントが加えられるように制御される。その結果発生する、実全床反力モーメントを修正実全床反力モーメント

$$\text{実全床反力モーメント} = \text{対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメント} + \text{目標慣性力モーメント} + \text{目標重力モーメント}$$

【0131】式11と式12から、次式が得られる。

$$\begin{aligned} & \text{目標慣性力モーメント} + \text{目標重力モーメント} \\ & + \text{実全床反力モーメント} = 0 \end{aligned} \quad \cdots \text{式13}$$

【0132】ところで、目標作業パターンは動力学的平衡条件を満足しているから、次式を満足する。

$$\begin{aligned} & \text{目標慣性力モーメント} + \text{目標重力モーメント} \\ & + \text{実全床反力モーメント} + \text{目標対象物反力モーメント} = 0 \end{aligned} \quad \cdots \text{式14}$$

【0133】各修正モーメントが元のモーメントにモーメント摂動量を加えたものであること、実対象物反力モーメントが目標対象物反力モーメントと対象物反力モーメント

$$\begin{aligned} & \text{修正目標慣性力モーメント} + \text{修正目標重力モーメント} \\ & + \text{修正実全床反力モーメント} + \text{実対象物反力モーメント} = 0 \end{aligned} \quad \cdots \text{式15}$$

【0134】式15は、実対象物反力モーメントがいかに目標対象物反力モーメントからはずれようとも、対象物反力平衡制御によって目標慣性力モーメント、目標重力モーメントおよび実全床反力モーメントが修正され、常に条件1を満たしていることを意味する。

【0135】同一のことを式13を用いて言い換えると、対象物反力モーメント偏差が発生しても、対象物反力平衡制御によって、目標慣性力モーメント摂動量、目標重力モーメント摂動量および実全床反力モーメント摂動量が発生し、条件1を満足するよう対象物反力モーメント偏差の影響を打ち消していると言える。

【0136】図4の台車押し作業の状況に対する対象物反力平衡制御の挙動を、図7を再び参照して説明する。

【0137】台車を押す作業を行っているとき、台車（即ち、目標対象物）の実際のころがり摩擦力の絶対値が想定していた値よりも突然ステップ状に小さくなってしまった状況では、対象物反力モーメント偏差も、図のようにステップ状に変化する。

【0138】これに対し、最終到達目標重心位置摂動量算出部が、最終到達目標重心位置摂動量を算出する。モデル制御則演算器により最終到達目標重心位置摂動量と目標重心位置摂動量の差に応じて、対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントが算出される。

【0139】図7に示すように、対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントは、目標重心位置摂動量が最終到達目標重心位置摂動量に漸近するにつれて0に漸近する。摂動動力学モデルには対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントと対象物反力モーメント偏差の和が入力され、目標重心位置摂動量と目標上体位置・姿勢摂動量が、摂動動力学モデルから出力される。尚、この例で

と呼ぶ。

【0130】故に、次式が成立する。

・・・式12

【0132】目標作業パターンは動力学的平衡条件を満足しているから、次式を満足する。

$$\begin{aligned} & \text{目標慣性力モーメント} + \text{目標重力モーメント} \\ & + \text{実全床反力モーメント} + \text{目標対象物反力モーメント} = 0 \end{aligned} \quad \cdots \text{式14}$$

【0133】各修正モーメントが元のモーメントにモーメント摂動量を加えたものであること、および式13と式14から、恒等式として次式が得られる。

$$\begin{aligned} & \text{修正目標慣性力モーメント} + \text{修正目標重力モーメント} \\ & + \text{修正実全床反力モーメント} + \text{実対象物反力モーメント} = 0 \end{aligned} \quad \cdots \text{式15}$$

【0140】は、姿勢を変えないことが拘束条件であるので、目標上体位置・姿勢摂動量は0である。

【0141】即ち、目標慣性力モーメント摂動量、目標重力モーメント摂動量、対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントと対象物反力モーメント偏差の和は0になる。この関係は、図7に示すように、常に成立する。

【0142】目標重心位置摂動量は、モデル制御則演算器によって最終到達目標重心位置摂動量に漸近させられる。目標重心位置摂動量は、目標重力モーメント摂動量に比例あるいはほぼ比例して変化する。

【0143】以上が、対象物反力平衡制御装置の挙動である。尚、上記制御演算は、全て、制御周期毎に実行される。従って、実対象物反力モーメントがいつ変化しても、常に、動バランスは維持される。換言すれば、対象物反力モーメントが目標値からはずれたとき、ロボット1は最初は全床反力モーメントを操作してつまさき（足平22R(L)の先端）を踏ん張るように姿勢制御されると共に、経時に上体を前方に移動させて重力モーメントに頼るように切り換えられる。

【0144】図12はこの発明の第2の実施の形態を示し、リミッタ200を設け、最終到達目標重心位置摂動量に上限下限の制限値を設定してリミットをかけるようにしたものである。

【0145】上記した実施の形態において、実際には、最終到達目標重心位置摂動量をあまり大きくすると、口

ボットの姿勢がとれなくなる場合が生じる。従って、これを防ぐために、式7によって得られた最終到達目標重心位置摂動量に、上限下限の制限値（範囲）を設定してリミットをかけるようにした。尚、その制限値（リミット値）は固定値でも良く、あるいは可変値としても良い。

【0145】更に、第2のリミッタ300を設け、モデル制御則演算器で演算された対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントにも上限下限の制限値（範囲）を設定し、リミットをかけるようにした。

【0146】即ち、対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントは実ロボットの足平22R（L）にも発生させるが、実ロボットの足平が発生できる全床反力モーメントには限度があり、限度を超えると、足平の接地性が損なわれたり、足平の一部が床から浮いたりする。それを防ぐためには、モデル制御則演算器が式10を用いて演算した対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントに上限下限の制限値を設定し、リミットをかけるようにした。その制限値が固定でも可変でも良いことはリミッタ200の場合と同様である。

【0147】図13はこの発明の第3の実施の形態を示し、リミッタ400を設けて最終到達目標重心位置摂動量算出部の入力に上限下限の制限値を設定してリミットをかけると共に、第2のリミッタ500を設け、第1のリミッタ400を超えた入力値で対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントを修正するようにした。

【0148】図12に示した第2の実施の形態においては、最終到達目標重心位置摂動量が過大になるのを防止するために、式7によって得られた最終到達目標重心位置摂動量に、上限下限の制限値（範囲）を設定してリミットをかけるようにしたが、制限値（リミット値）を超えた値がモデル制御則演算器の出力に加算点600（図12）において加算され、モデルに入力されることがあった。このため、対象物反力モーメント偏差に抗して重心位置を摂動していたものが、対象物反力モーメント偏差が過大になり、リミッタが作動すると、重心位置を逆方向に揺動してしまうと言う不都合を生じることがあった。

【0149】第3の実施の形態は上記した不都合を解消するもので、第1のリミッタ400の制限値（リミット値）を超えた入力値を第2のリミッタ500を通して加減算点700に送り、そこでモデル制御則演算器の出力から減算、換言すれば極性を反転させて転倒させようとする力と逆向きの力を与えるように、対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメントを修正するようにした。これによって、ロボットは制限値（リミット値）を超えた入力値（モーメント偏差）を足平22R（L）で支持するように姿勢制御される。

【0150】第2の実施の形態と異なり、リミット値を超えた値がモデル制御則演算器の出力に加算点710

（図13）において加算されてモデルに入力されることがない。このため、前記したような対象物反力モーメント偏差が過大になってリミッタが作動し、重心位置を逆方向に揺動してしまうと言う不都合を解消することができる。尚、残余の構成は従前の実施の形態と異ならない。第1のリミッタ400の制限値（リミット値）が固定でも可変でも良いことも、従前の実施の形態と同様である。さらに、モデル制御則演算器の後に、リミッタ400と同様のリミッタを追加しても良い。

【0151】図14はこの発明の第4の実施の形態を示し、対象物反力平衡制御装置において摂動動力学モデルの精度を高めるために、慣性力モーメントIを与えた倒立振子モデルを使用するようにした。

【0152】更に、摂動動力学モデルについて敷衍すると、重心高さがあまり変わらないならば、hは固定で良いが、作業によって重心高さが変わることには、最終修正目標上体位置・姿勢、最終修正目標足平位置・姿勢および最終修正目標ハンド位置・姿勢から求められるロボット姿勢から重心高さを求め、これに応じてhを変更しても良い。

【0153】また、摂動動力学モデルの精度をより高めるために、脚腕のリンクを持つロボットの多リンク幾何学モデルを備え、最終修正目標上体位置・姿勢、最終修正目標足平位置・姿勢および最終修正目標ハンド位置・姿勢から求められる重心位置と、最終修正目標上体位置・姿勢から上体位置の摂動量を差し引いた上体位置・姿勢、最終修正目標足平位置・姿勢および最終修正目標ハンド位置・姿勢から求められる重心位置との差を求めるにより、高精度な重心位置の摂動量と上体位置の摂動量との関係を求め、それを用いて重心位置の摂動量から上体位置の摂動量を求めて良い。

【0154】また、脚腕のリンクを持つロボットの多リンク動力学モデルであって、運動パターンにある拘束条件を与えておいて、目標床反力の摂動を入力として目標上体位置・姿勢摂動量と重心位置・姿勢摂動量を出力させるモデルを用いても良い。

【0155】ところで、腕を目標作業パターンから摂動させたときの腕の慣性力摂動量およびまたは重力摂動量の影響を考慮した摂動動力学モデルを用いると、制御装置の負荷が大きくなる。

【0156】何故なら、腕の慣性力摂動量およびまたは重力摂動量は、目標上体位置・姿勢摂動量に影響され、逆に目標上体位置・姿勢摂動量は、腕の慣性力摂動量およびまたは重力摂動量に影響されるので、この相互作用を同時に考慮してモデル挙動を算出することは、非常に複雑な演算が必要となるからである。

【0157】その問題を解決する手段として、以下の手法を用いても良い。

【0158】即ち、摂動動力学モデルでは、腕を目標作業パターンから摂動させたときの腕の慣性力摂動量およ

びまたは重力摂動量の影響を無視し、腕は目標動作パターン通りにしか動かないものと仮定する。この仮定により、モデルは摂動力学モデルの詳細説明に例として挙げた倒立振子モデルと同一形式に近似される。従って、摂動力学モデルの演算は極めて簡単になる。

【0159】腕メイン制御装置において、目標ハンド位置・姿勢、目標上体位置、最終修正目標ハンド位置・姿勢および最終修正目標上体位置から、腕を目標姿勢から最終目標姿勢に摂動させたために生じた慣性力摂動量およびまたは重力摂動量を算出する。これは、従来からの手法である多リンクマニピュレータの力学演算を行うことにより得られる。これは、最終修正目標ハンド位置・姿勢座標系で表す。

【0160】算出された慣性力摂動量およびまたは重力摂動量を、センサによって検出された実対象物反力に加え、対象物反力平衡制御装置に実対象物反力として出力する。以上の手段により、腕の慣性力摂動量およびまたは重力摂動量の影響を、摂動力学モデルにおいて無視した代わりに、作業対象物反力として考慮したこととなる。腕の慣性力摂動量およびまたは重力摂動量の演算と摂動力学モデルの演算が独立して行われるので、複雑な干渉演算が不要となり、演算量が小さく済む。

【0161】上記の如く、第1ないし第4の実施の形態にあっては、少なくとも基体（上体28）と、前記基体に連結される複数本のリンク（脚リンク2および腕リンク3）からなる脚式移動ロボット（2足歩行ロボット1）の姿勢制御装置において、前記ロボットの少なくとも前記基体の目標軌跡を含む運動パターンと、前記ロボットに作用する床反力の目標軌跡と、前記ロボットに作用する床反力以外の外力の目標軌跡とを少なくとも含む、前記ロボットの目標歩容を設定する目標歩容設定手段（目標作業パターン生成器）、前記床反力以外の外力を検出する外力検出手段（6軸力センサ58）、前記検出された外力と、前記目標軌跡で設定された床反力以外の外力の偏差（目標全床反力中心点まわりの対象物反力モーメント偏差）を演算する外力偏差演算手段（対象物反力平衡制御装置。より具体的には、図8の実対象物反力の座標変換およびその入出力）、前記床反力の摂動と前記ロボットの重心位置および／または基体の位置の摂動の関係を表現するモデル（摂動力学モデル）、少なくとも前記演算された外力の偏差に基づいて前記モデルに入力すべきモデル入力量（モデルのための目標全床反力モーメント摂動量）を演算するモデル入力量演算手段（モデル制御則演算器およびその後の加算点での入出力）、前記演算されたモデル入力量を前記モデルに入力し、得られる前記重心位置および／または基体の摂動量に応じて前記基体の目標軌跡を修正する、基体目標軌跡修正量（修正目標上体位置・姿勢）を演算する基体目標軌跡修正量演算手段（対象物反力平衡制御装置。より具体的には、摂動力学モデル入力量を入力し、モデルの

挙動を演算し、モデル出力から目標上体位置姿勢摂動量（修正量）を求める部分）、少なくとも前記演算されたモデル入力量に応じて前記床反力の目標軌跡を修正する、床反力目標軌跡修正量（対象物反力平衡制御用補償全床反力モーメント）を演算する床反力目標軌跡修正量演算手段（モデル制御則演算器、より具体的にはモデル制御則の一部）、および少なくとも前記演算された基体目標軌跡修正量および床反力目標軌跡修正量に基づいて前記ロボットの関節を変位させる関節変位手段（脚メイン制御装置、アクチュエータ駆動装置88、脚アクチュエータなど）、を備える如く構成した。

【0162】また、前記モデル入力量演算手段は、前記外力に静的に平衡する平衡重心位置の摂動量を算出する平衡重心位置摂動量算出手段（最終到達目標重心位置摂動量算出部）、を備え、前記算出された平衡重心位置に前記モデルが収束するように前記モデル入力量を演算する如く構成した。

【0163】また、前記モデルが前記ロボットを倒立振子で近似するモデル（摂動力学モデル）である如く構成した。

【0164】また、前記平衡重心位置摂動量算出手段は、前記算出された平衡重心位置の摂動量を所定の範囲に制限するリミッタ200, 400を備える如く構成した。

【0165】また、前記床反力目標軌跡修正量演算手段は、前記演算された床反力目標軌跡修正量を所定の範囲に制限するリミッタ300, 500を備えるように構成した。

【0166】また、前記床反力の目標軌跡は、前記ロボットに作用する床反力の目標中心点の軌跡を少なくとも含む如く構成した。

【0167】また、前記床反力目標軌跡修正量演算手段は、前記床反力目標軌跡修正量（対象物反力平衡制御用全床反力モーメント）が、前記モデル入力量（モデルのための目標全床反力モーメント摂動量）から前記外力の偏差（目標全床反力中心点まわりの対象物反力モーメント偏差）を減算した値と、前記床反力の目標中心点まわりに作用するモーメントに動力学的に釣り合うよう前記床反力目標軌跡修正量を演算する如く構成した。

【0168】また、前記床反力以外の外力が、前記リンクを介して前記ロボットに作用する作業対象物（台車100）からの反力である如く構成した。

【0169】また、前記ロボットが、前記基体に連結される2本の脚リンク2と2本の腕リンク3からなる脚式移動ロボットである如く構成した。

【0170】また、少なくとも基体（上体28）と、前記基体に連結される複数本のリンク（脚リンク2、腕リンク3）からなる脚式移動ロボットの姿勢制御装置において、前記ロボットの少なくとも前記基体の目標位置を

含む運動パターンと、前記ロボットに作用する床反力の目標中心点の軌跡を少なくとも含む、前記ロボットの目標歩容を設定する目標歩容設定手段（目標作業パターン生成器）、前記リンクを介して前記ロボットに作用する、作業対象物からの反力を検出する対象物反力検出手段（6軸力センサ58）、前記検出された対象物反力を前記目標床反力中心点まわりのモーメントとして変換する対象物反力モーメント変換手段（対象物反力平衡制御装置）、前記変換された対象物反力モーメントに動力学的に釣り合うように、前記目標中心点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置および姿勢を修正するロボット位置・姿勢修正手段（対象物反力平衡制御装置）、および前記修正された目標中心点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置・姿勢に基づいて前記ロボットの関節を変位させる関節変位手段（脚メイン制御装置、アクチュエータ駆動装置88、脚アクチュエータなど）、を備える如く構成した。

【0171】また、少なくとも基体（上体28）と、前記基体に連結される複数本のリンク（脚リンク2、腕リンク3）からなる脚式移動ロボットの姿勢制御装置において、前記ロボットの少なくとも前記基体の目標位置を含む運動パターンを設定する目標歩容設定手段（目標作業パターン生成器）、前記リンクを介して前記ロボットに作用する、作業対象物からの反力を検出する対象物反力検出手段（6軸力センサ58）、前記検出された対象物反力を所定の点、より具体的には目標床反力中心点まわりのモーメントとして変換する対象物反力モーメント変換手段（対象物反力平衡制御装置）、前記変換された対象物反力モーメントに動力学的に釣り合うように、前記所定の点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置および姿勢を修正するロボット位置・姿勢修正手段（対象物反力平衡制御装置）、および前記修正された所定の点まわりの床反力モーメントと前記ロボットの位置・姿勢に基づいて前記ロボットの関節を変位させる関節変位手段（脚メイン制御装置、アクチュエータ駆動装置88、脚アクチュエータなど）、を備える如く構成した。

【0172】尚、上記した第1ないし第4の実施の形態においては、上体リンクの曲げやひねりのためのアクチュエータを設けなかったが、それを追加するとき、上体アクチュエータ制御装置も必要となる。但し、上体リンクの曲げやひねりは腕または脚の付け根側に関節を追加したことと等価であるので、概念上、腕または脚のアクチュエータとみなすことができる。即ち、上体アクチュエータ制御装置は、腕または脚の制御装置の一部として含まれると考えることができる。

【0173】上記した第1ないし第4の実施の形態では、先に特開平5-305586号公報で提案したコンプライアンス制御を用いているが、それ以外の手段を用いても良い。脚制御に、そのコンプライアンス制御以外

の別の手段、たとえば、電動アクチュエータを電流指令型のアンプによって制御する手段を用いて関節トルクを制御し、その結果、間接的に床反力を制御する手段を用いれば、足平22R（L）に設けた6軸力センサ56は不要である。

【0174】更に、上記した第1ないし第4の実施の形態において、腕の制御に、仮想コンプライアンス制御以外の別の手段、たとえば、電動アクチュエータを電流指令型のアンプによって制御する手段を用いて関節トルクを制御し、その結果、間接的に対象物反力を制御しても良い。その制御ではハンドの6軸力センサは不要であるが、対象物反力平衡制御装置のために、ハンドの6軸力センサは設けるのが良い。

【0175】更に、上記した第1ないし第4の実施の形態において、ハンドの6軸力センサの代わりに、関節トルクから実対象物反力を推定する推定器を腕制御装置に備えても良い。この推定器は、従来技術である外乱オブザーバーを用いれば良い。

【0176】更には、上記した第1ないし第4の実施の形態において、特開平5-305586号で提案したコンプライアンス制御に加えて、本出願人が特開平5-337849号公報で提案した制御を加えても良い。但し、その制御によって上体の位置や歩幅が修正されるので、腕制御においてハンドと作業対象物との相対位置関係が重要な場合には、その制御によって修正される上体の位置や歩幅の影響を考慮する必要がある。

【0177】更には、上記した第1ないし第4の実施の形態において、床が平面でない場合でも、本出願人が特開平5-318840号公報で提案した仮想平面を想定する技術を用いて目標全床反力中心点や目標ZMPを仮想平面上に求めても良い。

【0178】更には、上記した第1ないし第4の実施の形態において、ロボット全体の姿勢が目標からずれて傾くと、ハンドの位置・姿勢が絶対空間においてずれる。この結果、対象物反力が目標対象物反力から大きくずれる場合がある。

【0179】その問題点を解決するために、傾斜センサによって検出される実上体位置・姿勢と目標上体位置・姿勢のずれに応じて上記の修正された最終目標ハンド位置・姿勢をさらに補正することにより、ロボット全体の姿勢が傾いても、ハンドの位置・姿勢が絶対空間においてずれないようにするのが、より好ましい。

【0180】更には、上記した第1ないし第4の実施の形態において、ブロック図は演算処理順序を変えるなど、種々の変形が可能である。

【0181】更には、上記した第1ないし第4の実施の形態においてはPD制御則を用いたが、それ以外の制御則（たとえば、PID制御、状態フィードバック制御）などを用いても良い。

【0182】また、この発明を腕を備えた2足歩行の脚

式移動ロボットについて説明したが、腕を備えない脚式移動ロボットにも有益であり、更に2足歩行ロボットに限らず、多脚ロボットにも応用することができる。

【0183】

【発明の効果】脚式移動ロボットが予期できない外力、より具体的には作業対象物から反力を受けても、動バランスをとって安定な姿勢を継続することができる。更に、予め想定していなかった動作パターンでリンク、より具体的には腕を動かして作業をするときに腕に発生する重力、慣性力だけでなく、作業対象から予期せぬ反作用を受けても、動バランスをとって安定な姿勢を継続することができる。

【0184】また、対象物反力が急変するときも、それに静的にバランスする位置にロボットの重心を移動させることにより、傾きや転倒を効果的に抑制することができる。また、ロボットの重心が移動する過渡期においても、重心位置や床反力を適正に変化させて動バランスを維持し続けることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明に係る脚式移動ロボットの姿勢制御装置を全体的に示す説明図である。

【図2】図1に示す2足歩行ロボットの制御ユニットの詳細を示すブロック図である。

【図3】この発明に係る脚式移動ロボットの姿勢制御装置の構成および動作を機能的に示すブロック図である。

【図4】図1に示す脚式移動ロボットが腕を使用して行う作業を示す説明図である。

【図5】図3装置の目標作業パターン生成器が生成する歩容における支持脚座標系を示す説明図である。

【図6】図5と同様に、図3装置の目標作業パターン生成器が生成する歩容における支持脚座標系を示す説明図である。

【図7】図3に示す対象物反力平衡制御装置の動作を説明するタイミング・チャートである。

【図8】図3に示す対象物反力平衡制御装置の詳細な構成を示すブロック図の前半部である。

【図9】図3に示す対象物反力平衡制御装置の詳細な構成を示すブロック図の後半部である。

【図10】図9に示す対象物反力平衡制御装置の摂動力学モデルを示す説明図である。

【図11】図10に示すモデルを倒立振子で近似した状態を示す説明図である。

【図12】図9に類似する、この発明の第2の実施の形態を示す対象物反力平衡制御装置の詳細な構成を示すブロック図の後半部である。

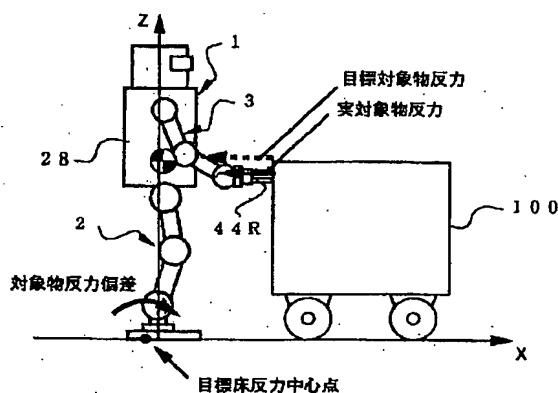
【図13】図9に類似する、この発明の第3の実施の形態を示す対象物反力平衡制御装置の詳細な構成を示すブロック図の後半部である。

【図14】図11に類似する、この発明の第4の実施の形態を示す倒立振子型摂動力学モデルを示す説明図である。

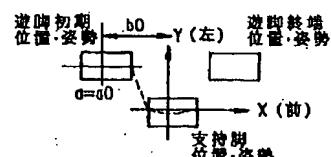
【符号の説明】

1	2足歩行ロボット（脚式移動ロボット）
2	脚リンク
3	腕リンク
10, 12, 14 R, L	腰関節
16 R, L	膝関節
18, 20 R, L	足関節
22 R, L	足平
28	上体
30, 32, 34 R, L	型関節
36 R, L	肘関節
38, 40, 42 R, L	手首関節
44 R, L	ハンド
50	制御ユニット
56, 58	6軸センサ
60	傾斜センサ

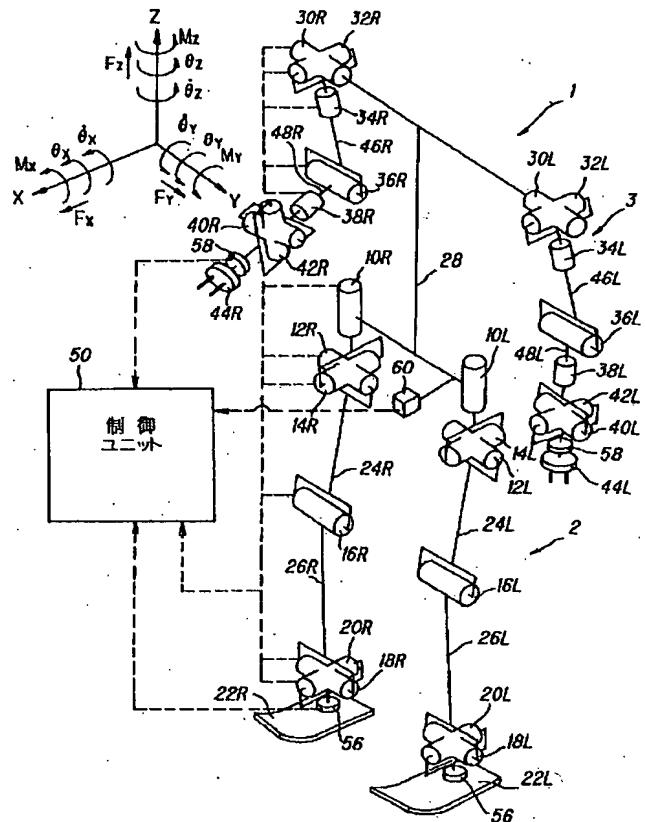
【図4】



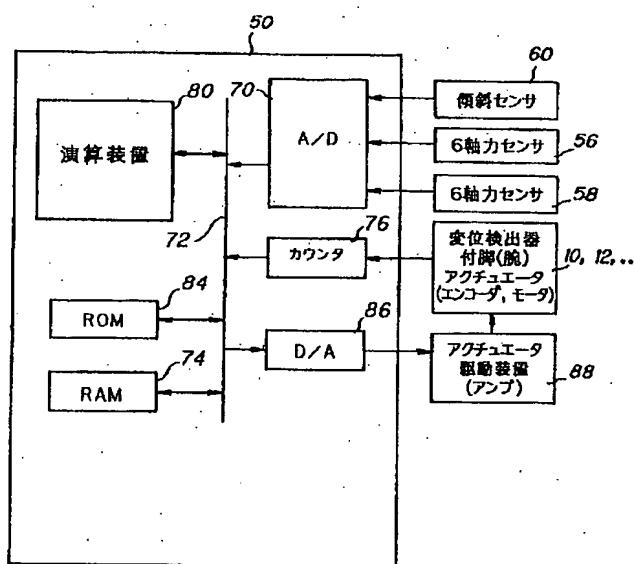
【図5】



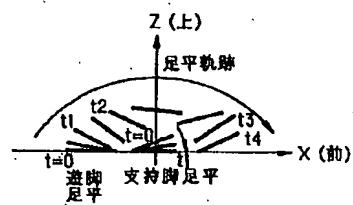
【図1】



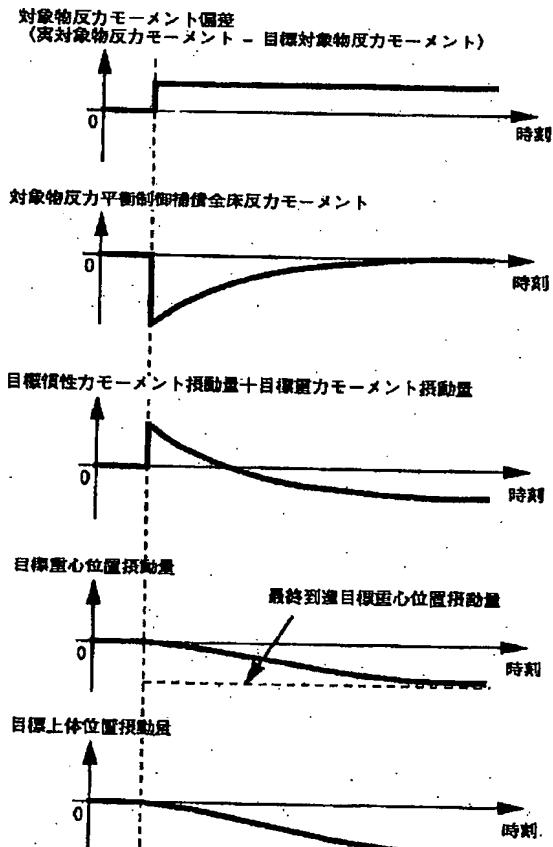
【図2】



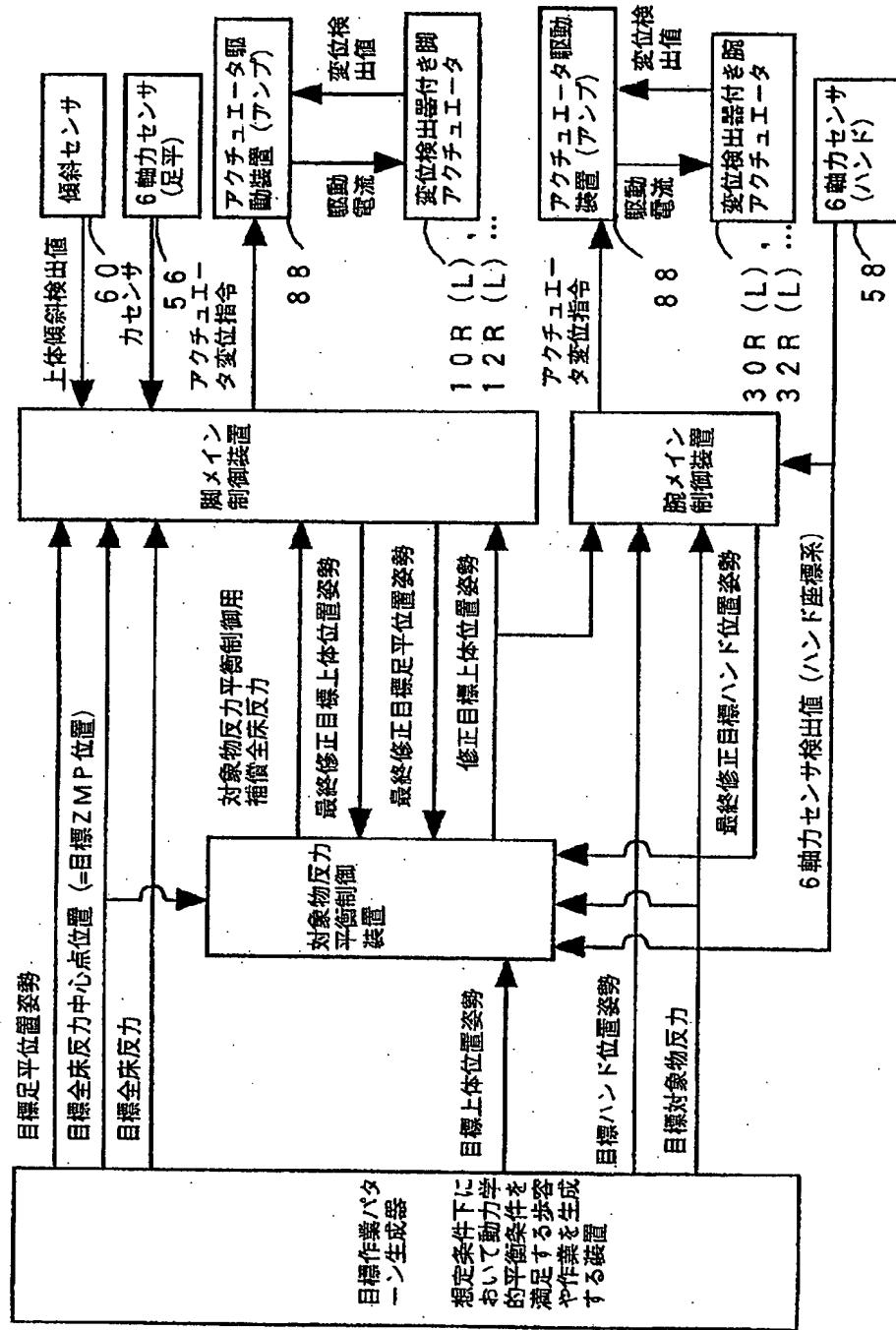
【図6】



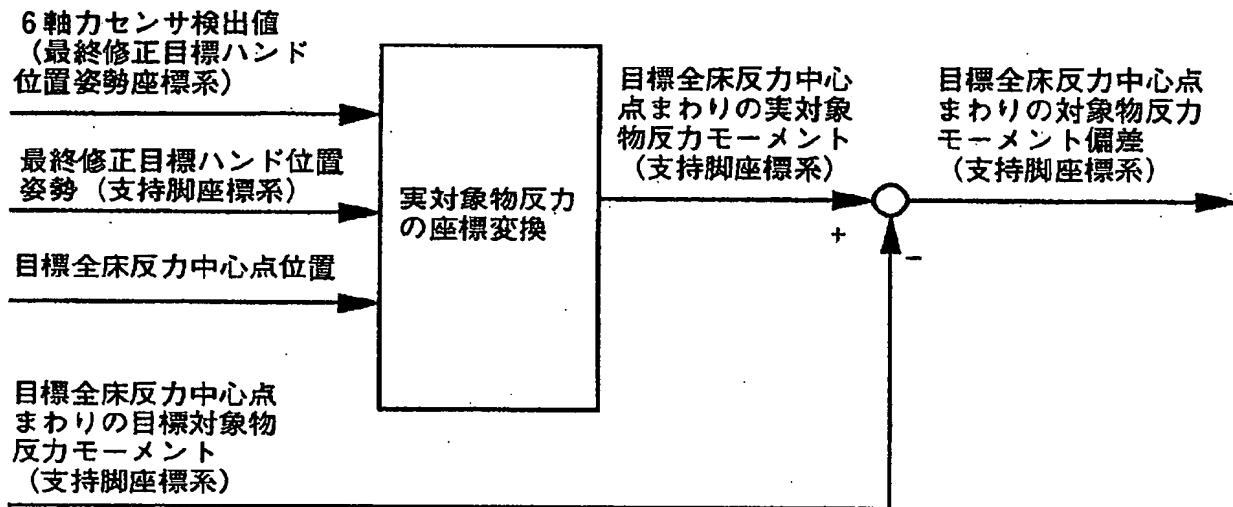
【図7】



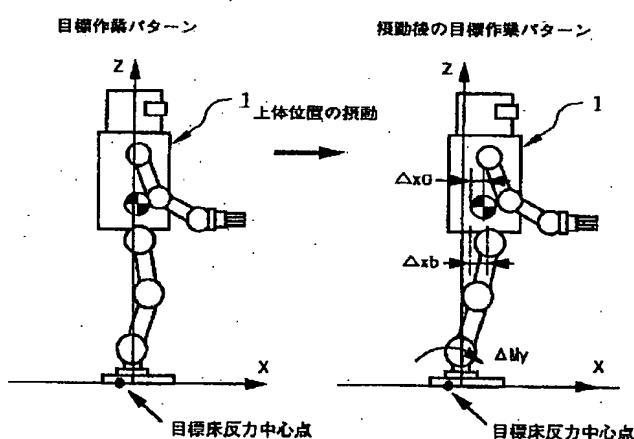
【図3】



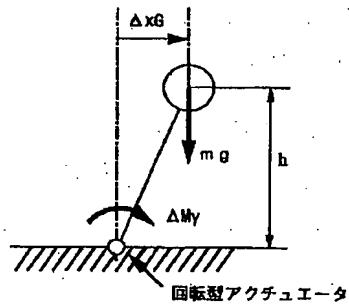
【図8】



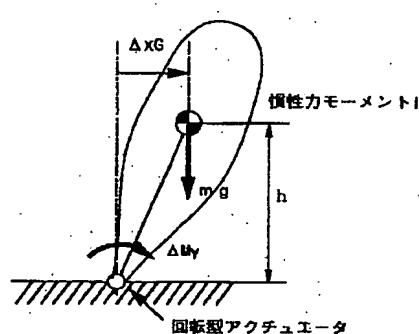
【図10】



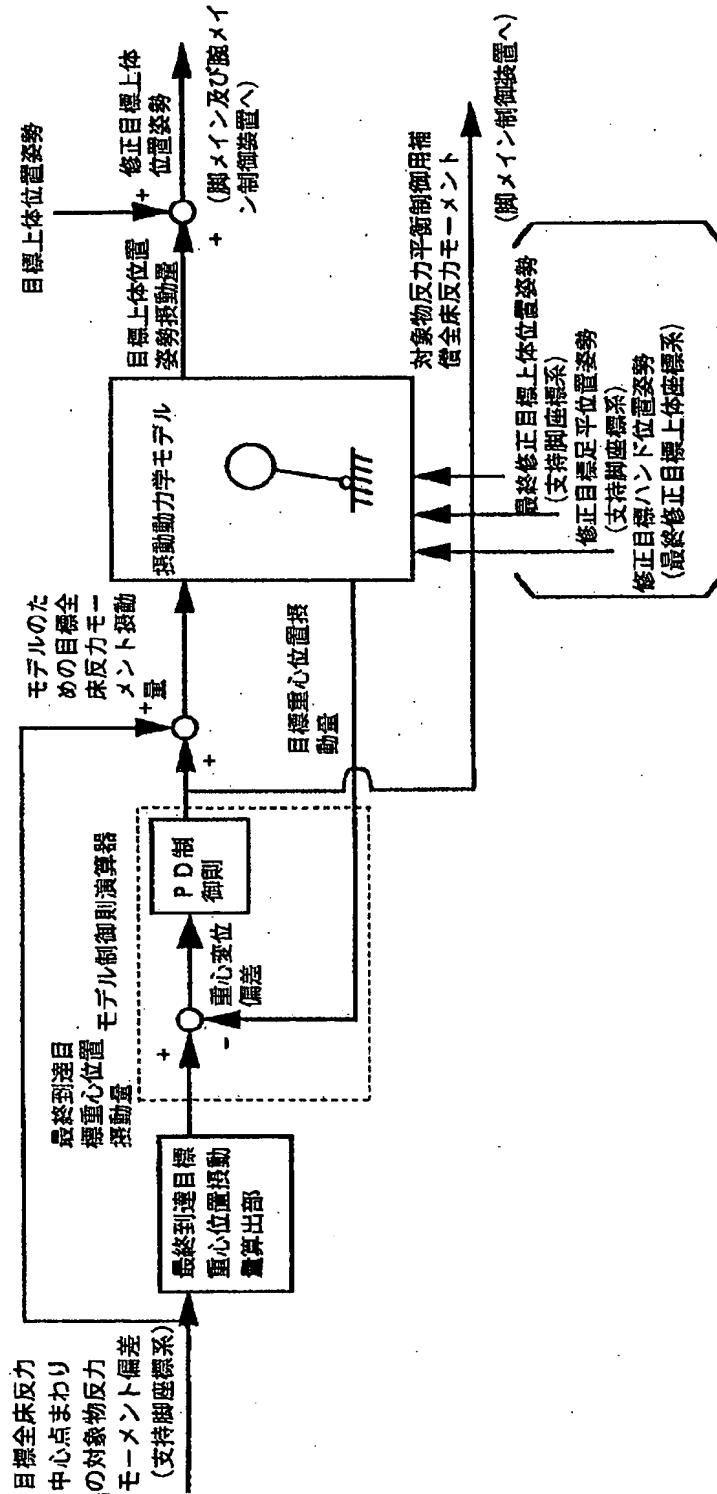
【図11】



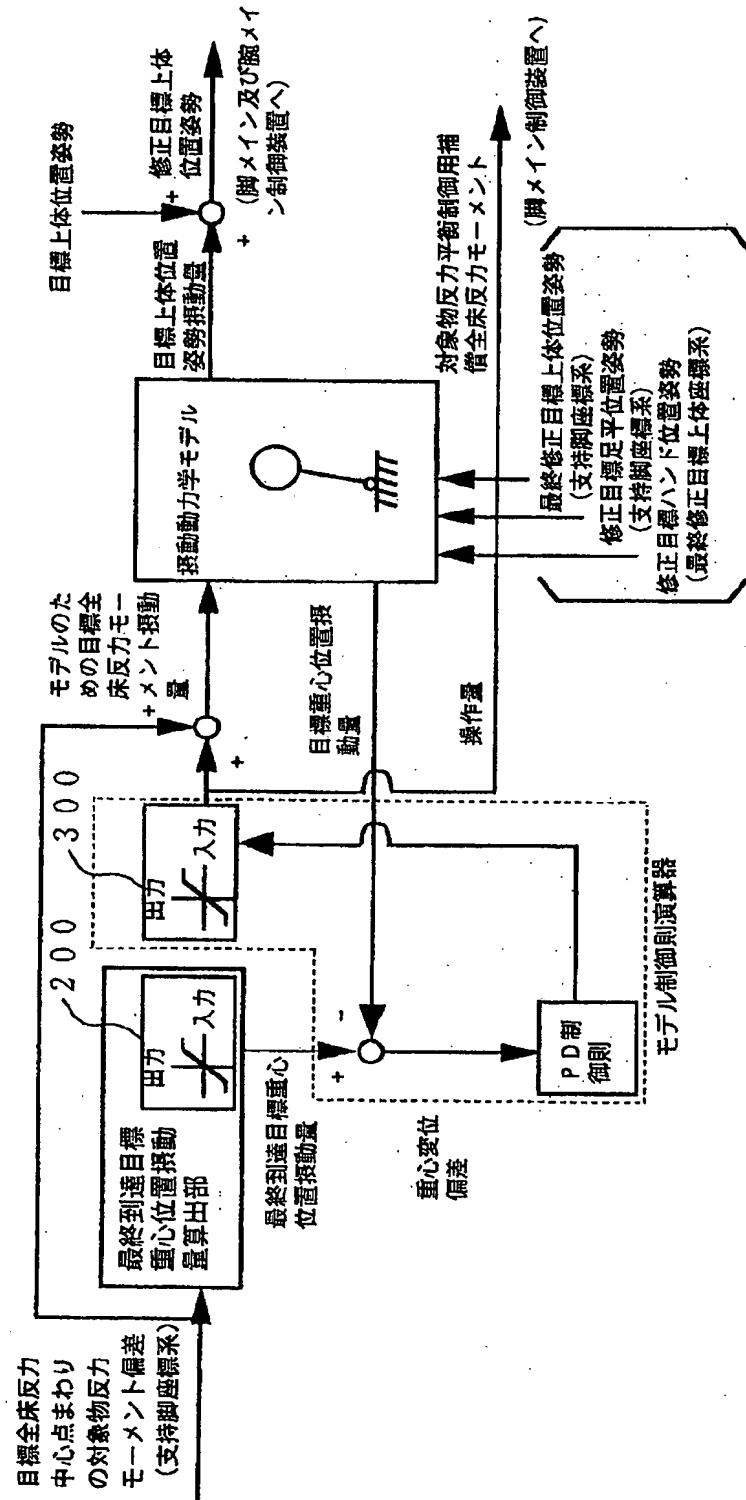
【図14】



【図9】



【図12】



【図13】

